

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta bezpečnostního inženýrství

Katedra požární ochrany

**Navrhování únikových cest z hlediska požární
bezpečnosti staveb**

Student: Bc. Lenka Špičková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Kučera, Ph.D.

Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Datum zadání diplomové práce: 15. 6. 2012

Termín odevzdání diplomové práce: 19. 4. 2013

Zadání diplomové práce

Bc. Lenka Špičková

Student:

Studijní program: N3908 Požární ochrana a průmyslová bezpečnost

Studijní obor: 3908T006 Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu

Téma: Navrhování únikových cest z hlediska požární bezpečnosti staveb
Designing Escape Routes from the Point of View of Fire Safety in
Buildings

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Způsob navrhování únikových cest se zaměřením na ochranu unikajících osob před účinky požáru a podrobné posoudit požární odvětrání únikových cest.

Charakteristika práce

- vývoj ochrany osob před požáry v souvislosti řešení únikových cest (předpisy a požadavky na únikové cesty před vznikem novodobých technických norem ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804),
- současné řešení únikových cest v právních předpisech a technických normách s odůvodněním požadavků, které průběžně vedly ke změnám v uvedených předpisech včetně obdobných řešení v zahraničí,
- způsoby řešení únikových cest v technických normách ve vazbě na požadavky vyplývající z projektové dokumentace stavby a vybavení únikových cest včetně požárně bezpečnostních zařízení,
- specifické požadavky na ohrožení osob kouřem a zplodin hoření - principy požárního větrání únikových cest stavebního objektu (přirozené, nucené a přetlakové),
- podrobné řešení přirozeného odvětrání únikových cest.

Seznam doporučené odborné literatury:

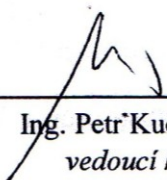
- ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- ŠENOVSKEJ, M. - PROKOP, P. - BEBČÁK, P. Větrání objektů. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1998. ISBN 80-86111-23-7.
- POKORNÝ, J. - TOMAN, S. Požární větrání - Větrání chráněných únikových cest. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. ISBN 978-80-7385-104-0.
- NFPA 101: Life Safety Code. National Fire Protection Association. Edition 2006.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

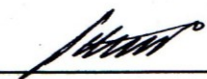
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Kučera, Ph.D.**

Datum zadání: 15.06.2012

Datum odevzdání: 19.04.2013



Ing. Petr Kučera, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Poledňák, Ph.D.
děkan fakulty

„Mistopřísežně prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracovala samostatně.“

V Ostravě dne 19. dubna 2013

.....

Bc. Lenka Špičková

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl/a seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů;
- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava (dále jen VŠB – TUO), dostupná k prezenčnímu nahlédnutí;
- beru na vědomí, že VŠB – TUO má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou/bakalářskou práci užít v souladu s § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má právo VŠB – TUO na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého VŠB – TUO nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Jméno, příjmení

Adresa

Dne:

Podpis:.....

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

2) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

3) zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

Tímto bych chtěla poděkovat panu Ing. Petru Kučerovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace při tvorbě mé diplomové práce.

Anotace

Špičková, L. Navrhování únikových cest z hlediska požární bezpečnosti staveb: diplomová práce. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, FBI, 2013, 45 s.

Diplomová práce se zabývá větráním únikových cest, které je nezbytné pro bezpečný únik osob z objektu během požáru. První kapitola udává základní informace o únikových cestách. V dalších kapitolách jsou řešeny jednotlivé typy chráněných únikových cest a jejich navrhování. V závěrečné části jsou uvedeny příklady, jak se má počítat přirozené větrání únikových cest pomocí otvorů umístěných v nejnižším a nejvyšším místě budovy.

Klíčová slova: odvětrávání, otvor, úniková cesta.

Annotation

Špičková, L. Designing Escape Routes from the Point of View of Fire Safety in Buildings: Diploma thesis. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, FBI, 2013, 45 s.

This thesis deals with the ventilation of the escape routes, which is necessary for the safe escape of people from the building during a fire. The first chapter gives basic information about escape routes. The following chapters are solved the different types of protected escape routes and their design. The final section provides examples of how to calculate the natural ventilation of the escapes in the form of openings located at the lowest and the highest point of the building.

Key words: ventilation, hole, escape route.

Seznam zkratek

DVO	dolní větrací otvor
ČCHÚC	částečně chráněná úniková cesta
CHÚC	chráněná úniková cesta
NÚC	nechráněná úniková cesta
ÚC	úniková cesta

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Rešerše.....	2
3	Historický vývoj požární bezpečnosti staveb.....	3
4	Základní informace o únikových cestách.....	4
4.1	Chráněná úniková cesta.....	4
4.2	Nechráněná úniková cesta.....	5
4.3	Částečně chráněná úniková cesta.....	5
4.4	Rampy, eskalátory, schodiště.....	6
4.5	Náhradní únikové možnosti.....	6
4.6	Řešení únikových cest v zahraničí.....	7
5	Typy chráněných únikových cest.....	9
5.1	Chráněná úniková cesta typu A.....	10
5.1.1	Přirozené odvětrávání.....	10
5.1.2	Nucené odvětrávání.....	13
5.2	Chráněná úniková cesta typu B.....	13
5.3	Chráněná úniková cesta typu C.....	14
6	Navrhování únikových cest.....	15
6.1	Doba evakuace.....	15
6.2	Počet evakuovaných osob.....	16
6.3	Zvolení vhodného typu únikové cesty.....	17
6.4	Rozměry únikových cest, jejich provedení, vybavení.....	17
6.5	Instalace evakuačního výtahu.....	19
6.6	Požární odvětrání.....	19
6.7	Stanovení počtu únikových cest.....	20
7	Podrobné řešení přirozeného odvětrávání únikových cest.....	21
7.1	Příklad 1 – bez působení větru.....	22
7.2	Příklad 2 – zvětšené rozměry větracích otvorů.....	27
7.3	Příklad 3 – zmenšené rozměry větracích otvorů.....	33
7.4	Grafické vyhodnocení závislosti ploch otvorů na výměně vzduchu.....	36
	Závěr.....	39
	Seznam použité literatury.....	40
	Seznam obrázků.....	42

Seznam tabulek.....	43
Seznam grafů	44

1 Úvod

Únikové cesty (dále jen “ÚC”) jsou nezbytné pro zajištění bezpečné evakuace osob z objektu zasaženého požárem. Prioritou při navrhování ÚC je právě bezpečnost osob. Na ÚC je kladeno mnoho požadavků. Při navrhování ÚC je potřebné zvolit vhodný typ, počet, rozměr ÚC, způsob odvětrávání, které odpovídá požadavkům českých technických norem. Aby v objektu nedocházelo k nežádoucí panice, tak je nutné cesty vybavit příslušnými bezpečnostními značkami a tabulkami, aby se osoby během úniku lépe orientovali a dostali se ven z objektu na volné prostranství.

Tato práce představuje přehled o jednotlivých typech ÚC, které je možno použít. Pokud by se objekty nevybavily těmito ÚC a hlavně tedy větráním a nastal by zrovna v daném objektu požár, tak by to při evakuaci a záchraně osob mohlo mít katastrofální dopad. Proto je důležité vybavovat každou stavbu ÚC. Osoby jsou totiž během požáru ohrožovány plameny, vysokou teplotou, ale i toxickými zplodinami hoření, které se díky přetlaku rychle šíří v objektu. Z tohoto důvodu je potřebné navrhnout vhodnou ÚC. Při navrhování ÚC se musí hlavně zohlednit to, zda jsou osoby schopné samostatného pohybu či nikoliv. ÚC tedy zajistí bezpečnou evakuaci osob, ale také usnadní zásah jednotkám požární ochrany.

Práce je rozdělena na několik tématických okruhů. Nejprve je zaměřila na obecné informace o ÚC. Další část popisuje, jaké jsou jednotlivé typy ÚC a způsob jejich navrhování. Závěrečná část je tvořena výpočty přirozeného větrání. Jedná se vlastně o to, zda větrání pomocí otvorů umístěných v nejnižším a nejvyšším místě budovy pomocí určitých rozměrů bude dostačující. Na závěr je provedeno celkové vyhodnocení příkladů.

2 Rešerše

K důležitým legislativním předpisům, které se zabývají ÚC patří vyhláška č. 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb. Vyhláška poukazuje na to, kde smí být v chráněných únikových cestách umístěny předměty, které jsou z hořlavých látek. Množství hořlavých látek přitom nesmí překročit stanovený rozsah. Jedná se hlavně o to, že předměty nesmí nějakým způsobem omezovat pohyb osob či zasahovat do chráněných únikových cest. Hořlavé předměty musí být také dobře připevněny, aby umožnily bezpečný zásah jednotkám požární ochrany a hlavně bezpečnou evakuaci osob.

Nejvíce informací o ÚC lze získat především ve dvou základních normách. Jedná se o normu ČSN 73 08 02 – PBS – Nevýrobní objekty [7] a ČSN 73 0804 – PBS Výrobní objekty [6]. Podrobně popisují jednotlivé typy ÚC a jaké jsou možné způsoby jejich větrání. Dále je zde možno nalézt náhradní únikové možnosti, ke kterým patří výtahy, eskalátory a rampy. Hlavní prioritou těchto dvou norem je, jak se mají cesty dimenzovat. To znamená, jakou mají mít šířku, délku a také, kolik ÚC má být v daném objektu použito.

Nejen normy a vyhlášky, ale i mnoho jiných publikací uvádí souhrnný přehled o ÚC. Do této skupiny je možno zařadit například Stavby z hlediska požární bezpečnosti [2], kterou napsala I. Bradáčová a také Požární bezpečnost staveb [1], kterou napsal Z. Hošek. Zmíněné publikace přehledně uvádí řešení ÚC a názorně zobrazují obrázky jednotlivých typů ÚC, což napomáhá k tomu, si daný typ cesty lépe představit.

Skriptum Požární větrání - větrání chráněných únikových a zásahových cest [4], které napsal S. Toman spolu s J. Pokorným, podrobně řeší, jak by se ÚC měly nejlépe větrat. Jedná se o přirozené, nucené a přetlakové větrání. Uvedená větrání mají své klady i zápory. Velmi důležitou částí v této publikaci je navrhování přirozeného větrání a následné ověření intenzity vzduchu v chráněné únikové cestě. Názorně je pro přirozené větrání uveden jeho podrobný výpočet i s celkovým vyhodnocením.

Nemůže se také zapomenout na celou řadu internetových stránek, které se zabývají touto problematikou.

3 Historický vývoj požární bezpečnosti staveb

Během historického vývoje PBS došlo k vydání samostatné technické normy ČSN 73 0760: 1954 - Požární předpisy pro výstavbu průmyslových závodů a sídlišť. Dle stupně bezpečnosti objektu proti ohni byly navrhovány jednotlivé objekty. Daný stupeň byl určen podle počtu podlaží kategorie výroby. Podle stupně bezpečnosti pak byly dále dimenzovány jednotlivé konstrukce. Jednalo se o odolnost proti ohni a stupeň hořlavosti. Největší požadavky byly kladeny na konstrukce s nejnižším stupněm. Velká pozornost v této normě byla věnována únikovým cestám. K její novelizaci došlo v roce 1959 a její ustanovení byla zpřesněna a více rozvedena. Byla dále rozšířena o předpisy o navrhování ústředního vytápění a kotelen.

V roce 1967 došlo k vydání Požárních předpisů pro projektování výškových budov. Do této kategorie byly začleněny stavby, které měly výšku od nástupní plochy k podlaze posledního podlaží větší jak 30 m. Předpisy řešily požadavky na výtahy, schodiště, dveře a důkladně řešily ÚC. Při změně tohoto předpisu byla snížena výška budov z 30 m na 24 m.

K zásadní změně norem PBS došlo v roce 1977. Norma ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb. Společná ustanovení nabyla účinnosti. Tato norma je hlavní z kodexu norem PBS. Na danou normu navázalo několik dalších norem. Jedná se například o zkušební normy (ČSN 73 0851 PBS. Stanovení požární odolnosti stavebních konstrukcí), normy předmětové (ČSN 73 0875 PBS. Navrhování elektrické požární signalizace), normy, které se týkají určitých druhů budov (ČSN 73 0833 PBS. Budovy pro bydlení a ubytování).

Tento kodex norem řady ČSN 73 08xx sebou přinesl další koncept PBS. Je možno zde zařadit výpočet požárního rizika, rozdělení objektu na jednotlivé požární úseky, počítání odstupů mezi objekty, zavedení chráněných a nechráněných cest, důkladnější stanovení požadavků na stavební konstrukce a mnoho dalších opatření. Lze v podstatě říci, že se zvýšila požární bezpečnost a snížily celkové škody [17, 18].

4 Základní informace o únikových cestách

V každé budově, nové či rekonstruované mají být ÚC. Tyto cesty slouží pro zajištění bezpečné evakuace všech osob z objektu ohroženého požárem na volné prostranství. Využívají se také pro přístup jednotek požární ochrany. Výrazně musí být na ÚC označen směr úniku osob, evakuační výtahy, únikové východy. Od tohoto lze upustit v případě, že objekt má východy do volného prostranství, které jsou dostupné a viditelné z každého místa. Tam, kde se mění směr úniku, kříží komunikace, případně se mění výšková úroveň, tak musí být použito bezpečnostní značení. Odblokovacím zámkem musí být vybaveny dveře na ÚC. Další podmínkou pro bezpečný únik osob z objektu je vybavit ÚC dostatečným denním nebo umělým osvětlením [13].

Hlavním úkolem autorizovaného projektanta požární bezpečnosti staveb je stanovit počet a druh ÚC, jejich provedení, kapacity a vybavení. Stanovené hodnoty jsou pak uvedeny v požárně bezpečnostním řešení stavby [6,11]. Podle stupně ochrany, kterou poskytují unikajícím osobám, rozeznáváme tři druhy únikových cest:

- chráněné (dále jen “CHÚC”);
- nechráněné (dále jen “NÚC”);
- částečně chráněné (dále jen “ČCHÚC”).

Vždy se musí u ÚC různými způsoby vyhodnotit následující kritéria:

- Počet - závisí na počtu osob a zda jsou schopné samostatného pohybu, dále závisí na rozměrech požárního úseku.
- Délka – může být vyjádřena časem úniku osob (zvířat).
- Šířka – je dána počtem únikových pruhů. Jeden únikový pruh představuje 550 mm.
- Typ – podle výšky objektu, počtu podlaží, charakteru budovy.
- Rozmístění – v závislosti na geometrii budovy nebo požárního úseku [5].

4.1 Chráněná úniková cesta

Je trvale volný komunikační prostor, ve kterém se lze pohybovat směrem k východu na volné prostranství bez jakýchkoliv překážek. CHÚC tvoří samostatný požární úsek s dostatečným odvětráváním, příslušným stupněm požární bezpečnosti a je chráněna požárně dělícími konstrukcemi [6]. CHÚC zajišťuje vycházejícím osobám, že nebudou požárem

zasažení. Vnější komunikace jako jsou schodiště, pavlače se považují za CHÚC, pokud jsou požárně odděleny od vnitřních prostorů.

Minimálně ve II. stupni požární bezpečnosti musí být CHÚC. Jestliže požární výška objektu je větší jak 30 m, tak má být nejméně ve III. stupni. Je-li požární výška víc jak 45 m, tak se zařazuje do IV. stupně požární bezpečnosti. Konstrukce zajišťující stabilitu CHÚC musí být druhu DP1. Samouzavíracím zařízením musí být vybaveny požární uzávěry otvorů v požárně dělících konstrukcích CHÚC. Požární zatížení nesmí být v CHÚC, kromě hořlavých hmot v konstrukcích dveří, podlah, oken, madel a kromě požárního zatížení v prostorech, které slouží dozoru nad provozem objektu. Jedná se o sociální zařízení, recepci, informační službu, vrátnici [6]. V CHÚC nemohou být umístěny:

- volně vedené rozvody vysokotlaké a středotlaké páry, kouřovody;
- rozvody nebezpečných či toxických látek;
- zařízení předměty nebo jiná zařízení, která budou zužovat průchozí šířku;
- volně vedené kabely bez dostatečné ochrany;
- volně vedené rozvody vzduchotechnických zařízení, která neslouží jen větrání CHÚC.

4.2 Nechráněná úniková cesta

NÚC se rozumí volný komunikační prostor v posuzovaném požárním úseku, který směřuje na volné prostranství nebo také do CHÚC či ČCHÚC. Vnější komunikace jako jsou například balkóny a schodiště se také považují za NÚC. Nemusí být odděleny stavebními konstrukcemi od ostatních prostorů. Elektrické osvětlení musí být u NÚC tam, kde se nachází běžná elektroinstalace pro osvětlení [6,12]. NÚC je možné využít ke komunikaci mezi:

- dvěma podzemními podlažími;
- prvním podzemním podlažím a prvním nadzemním podlažím za předpokladu, že je požárně oddělitelná NÚC od ostatních prostorů nadzemního podlaží;
- prvním podzemním podlažím s volným prostranstvím;
- nadzemními podlažími, pokud nepřesahuje výškový rozdíl podlah 9 m.

4.3 Částečně chráněná úniková cesta

Jedná se o trvale volný komunikační prostor či komunikaci, ve kterém je možné se pohybovat směrem k východu na volné prostranství nebo do CHÚC a to bez jakýchkoliv překážek.

Nejčastěji je tvořena požárním úsekem bez požárního rizika nebo prochází částí posuzovaného požárního úseku, který je bez požárního rizika, ale s požární odolností alespoň EI 15, stavebními konstrukcemi DP1 a s uzavíratelnými požárními uzávěry minimálně typu EW 15 DP3. Další způsob je, že prochází sousedním požárním úsekem, ve kterém nejsou provozy s nebezpečnými a hořlavými látkami [6].

4.4 Rampy, eskalátory, schodiště

Rampy i eskalátory tvoří ÚC. Za CHÚC se považují rampy, které jsou požárně odděleny stavebními konstrukcemi. Pokud eskalátory tvoří druhou nebo další ÚC, tak se považují za ÚC a jsou li odděleny stavebními konstrukcemi, tak se berou za CHÚC. Pouze eskalátory, které se pohybují ve směru úniku, se berou do výpočtu únikové kapacity. Započítává se eskalátor se šířkou jednoho únikového pruhu, ať je skutečná šířka eskalátoru jakákoliv.

Zábradlím musí být rozděleny rampy a schodiště a to podélně v celé délce. Musí být opatřeny madlem a to takovým způsobem, aby šířka cesty mezi zábradlím nebyla větší než čtyři únikové pruhy. Jestliže jsou za sebou víc jak tři schodišťové stupně, tak se cesta po schodech považuje za únikovou cestu [5].

4.5 Náhradní únikové možnosti

Náhradní únikové možnosti se nezapočítávají do počtu ani kapacity ÚC a hlavně se nepovažují za ÚC. Používají se k evakuaci osob mimořádným způsobem. Jako náhradní únikové možnosti se berou:

- skluzné tyče a žlaby;
- požární nebo únikové žebříky;
- otvory, otevíratelná okna o výšce 800 mm, šířce minimálně 500 mm a s výškou parapetu nepřesahujíc 1200 mm;
- jiná zařízení, která slouží k úniku.

Doporučuje se je použít v provozech, kde osoby mohou být ohroženy na zdraví například poleptáním, popálením, výbuchem. Dále musí být v objektech, ze kterých vede jen jedna NÚC a to z podzemních podlaží, kde je víc jak pět dočasných či trvalých pracovních míst a také z místností, kde je víc než 10 trvalých pracovních míst [6].

4.6 Řešení únikových cest v zahraničí

Při navrhování ÚC v zahraničí se postupuje obdobně jako u nás v České republice, pouze se vychází z jiných norem a předpisů. Například ve Velké Británii existují dva hlavní zdroje, které by se měly brát v úvahu při posuzování šířky požárních východů. Jedná se o stavební předpisy a britské normy. Aktuální stavební předpisy obsahují pokyny ohledně šířky ÚC a nouzových východů, které platí pro nově postavené domy, rodinné nemovitosti, společenské prostory [8, 9]. Šířka ÚC a výstupů závisí na počtu osob, které ji budou používat. Neměla by být menší, než jsou rozměry uvedené v *tabulce 1*.

Maximální počet osob	Minimální šířka [mm]
60	750
110	850
220	1050
Více než 220	5 na osobu

Tabulka 1 Šířka únikových cest a východů [8]

Obecně by měly být nejméně dvě ÚC ze všech částí objektu, ale jedna ÚC může být použita za určitých okolností (např. pokud prostor pojme méně než 60 lidí). Dvě ÚC jsou nezbytné a mělo by se zajistit, aby ÚC byly zcela na sobě nezávislé. Tím se zabrání vzniku požáru ve více než jedné ÚC současně.

Dveře na ÚC by se měly otevřít snadno, okamžitě, a pokud je to možné, tak ve směru úniku (tj. směrem ven do bezpečného místa mimo budovu). Posuvné nebo otáčivé dveře se nesmí použít pro východy, které jsou určeny jako požární. ÚC a nouzové východy musí být dobře osvětleny a označeny vhodnými značkami.

Často je nezbytné navrhnout dočasné bezpečné místo, například při evakuaci vysokých budov. Jedná se o místo, které zajistí určitou bariéru (obvyklá požární odolnost 30 minut) mezi unikající osobou a ohněm. V objektech, kde se vyžaduje speciální pomoc (například děti v jeslích, lidé se zdravotním postižením) při evakuaci by měl být dostatečný počet pracovníků k zajištění rychlé evakuace. Úroveň požární ochrany se bude lišit na ÚC v závislosti na míře požárního rizika uvnitř objektu a na mnoha dalších faktorech [8, 9]. Obecně platí, že prostory, které jsou jednoduché (jednopodlažní budovy) budou vyžadovat jednoduchá opatření na ochranu ÚC ve srovnání s vícepodlažními budovami.

Počet a schopnost přítomných lidí má vliv na posouzení ÚC. Musí se zajistit, aby stávající ÚC byly dostatečné a schopné bezpečně evakuovat všechny lidi. V případě potřeby je nutné zvýšit kapacitu ÚC nebo omezit počet lidí v areálu [8, 9]. Při určování, zda prostory mají odpovídající ÚC, je třeba zvážit řadu faktorů, jedná se o následující:

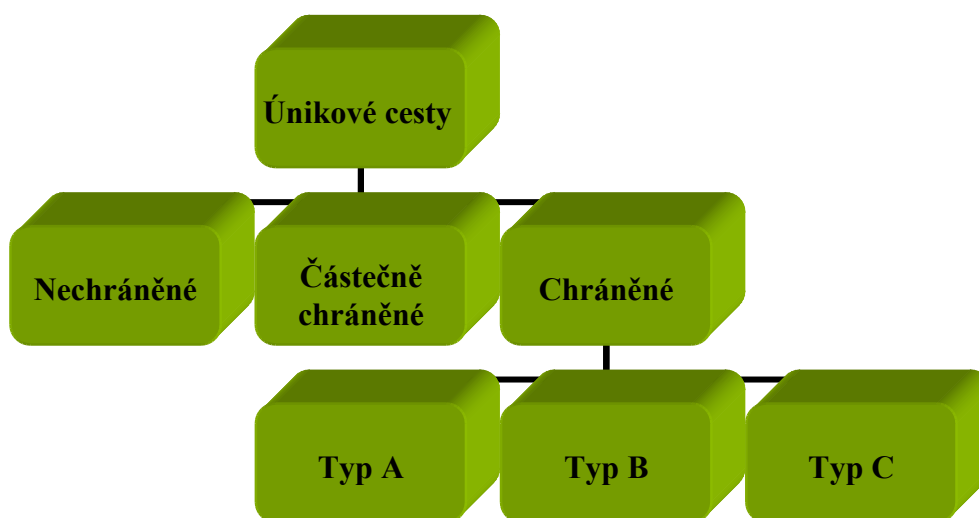
- typ a počet lidí, kteří používají prostory;
- dobu úniku;
- věk a výstavbu areálu;
- počet a složitosti únikových cest a nouzových východů;
- zda výtahy mohou nebo musí být použity.

Při navrhování ÚC v Americe musí být každý protipožární systém navržen, instalován a schválen v souladu s platnými NFPA normami. Prostředky určené pro únik musí být navrženy a udržovány tak, aby zajistily dostatečnou světlou výšku, která nesmí být menší jak 2285 mm. Změna úrovně na ÚC může být použita, pokud výškový rozdíl nepřekročí 535 mm. Dveře na ÚC mají mít minimální šířku 865 mm. V případě použití schodiště, jako ÚC musí být minimální šířka 915 mm, pokud se po schodišti bude pohybovat nejvíce 50 osob [10].

5 Typy chráněných únikových cest

ÚC se podle stavebního provedení rozdělují na jednotlivé druhy, jak je možno vidět na *obrázku 1*. CHÚC se podle doby, po kterou se mohou osoby během požáru bezpečně zdržovat v únikové cestě, dělí na:

- chráněnou únikovou cestu typu A;
- chráněnou únikovou cestu typu B;
- chráněnou únikovou cestu typu C.



Obrázek 1 Rozdělení únikových cest [4]

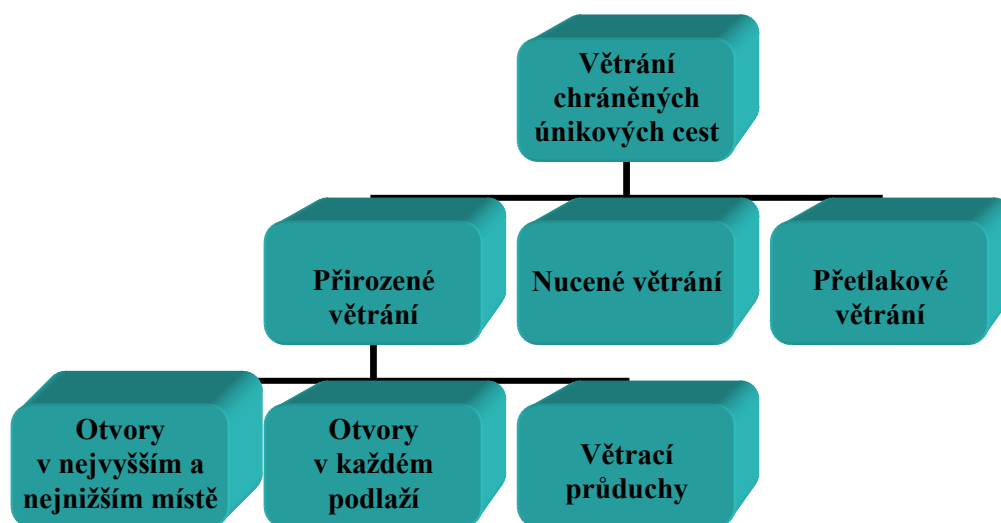
Zvolení vhodného typu CHÚC se odvíjí od výšky objektu, jak je možno vidět v *tabulce 2*. U všech typů CHÚC musí být použito odvětrávání. Mezi nejsložitější variantu patří CHÚC typu C, naopak CHÚC typu A patří mezi nejjednodušší typ. Pomocí větrání je zajištěn dostatečný přísun kyslíku, který se spotřebovává během požáru [1]. Přirozeně či uměle lze větrat CHÚC typu A, B. CHÚC typu C musí být větrána pouze přetlakově.

Typ CHÚC	Výška objektu [m]
CHÚC typu A	$h \leq 22,5$
CHÚC typu B	$22,5 < h \leq 45$
CHÚC typu C	$h > 45$

Tabulka 2 Stanovení typu chráněné únikové cesty [1]

5.1 Chráněná úniková cesta typu A

CHÚC typu A je od ostatních požárních úseků komunikačně oddělena pomocí požárních uzávěrů. Může být odvětrávána dvěma způsoby a to buď přirozeně, nebo uměle. Dodávka vzduchu musí být zajištěna minimálně po dobu 10 minut spolehlivým zařízením, ať je místo vzniku požáru kdekoli. Osoby se na této cestě mohou bezpečně pohybovat po dobu nejvýše 4 minuty. Během této doby nesmí dojít k tomu, aby osoby byly ohroženy zplodinami hoření. CHÚC typu A musí mít nouzové osvětlení, které musí být funkční po dobu nejméně 15 minut i během požáru [6, 12]. Jednotlivé větrání CHÚC je uvedeno na *obrázku 2*.



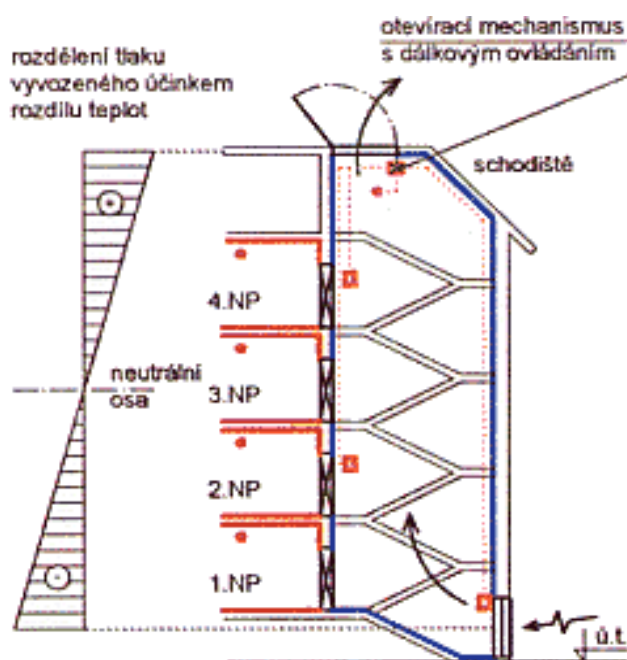
Obrázek 2 Členění větrání chráněných únikových cest [4]

5.1.1 Přirozené odvětrávání

Přirozené odvětrávání je založeno na komínovém efektu. To znamená, že je způsoben rozdílem hustot vzduchu vně a uvnitř objektu. V případě vyšších teplot v interiéru a nižších teplot v exteriéru stavby ($T_i > T_e$) je hustota plynů v exteriéru vyšší než v interiéru ($\rho_e > \rho_i$), tím pádem je horním otvorem vzduch vytlačován a spodním otvorem je nasáván do objektu. Hustota plynů v exteriéru je nižší než v interiéru ($\rho_e < \rho_i$) za předpokladu, že teplota v exteriéru je vyšší než v interiéru ($T_e > T_i$), jev má vratný charakter. Hybná energie závisí na výšce větracího otvoru, na vzdálenosti horního a dolního větracího otvoru a vzniká vlastně při komínovém efektu. Návrh a výpočet přirozeného větrání není jednoduchý. Větrací účinek je během dne proměnlivý a nejméně spolehlivý z hlediska větrací ochrany ÚC [4, 14]. Při návrhu přirozeného odvětrávání se vychází z následujících podmínek:

a) Větrání pomocí otvorů v nejvyšším a nejnižším místě

Větrací otvor o minimální ploše 2 m^2 , který je umístěn na nejvyšším místě komunikace a otvor pro přítok vzduchu z vnějšku o stejné velikosti, který je umístěn ve vstupním podlaží nebo níže (obrázek 3). Samočinně musí být otevíratelné oba větrací otvory a to pomocí čidel, které reagují na kouř a dále dálkově (ručními tlačítky) a to z několika míst v prostoru CHÚC, vždy ale v úrovni vstupního podlaží. Tento způsob větrání je nejúčinnějším druhem přirozeného větrání [6].

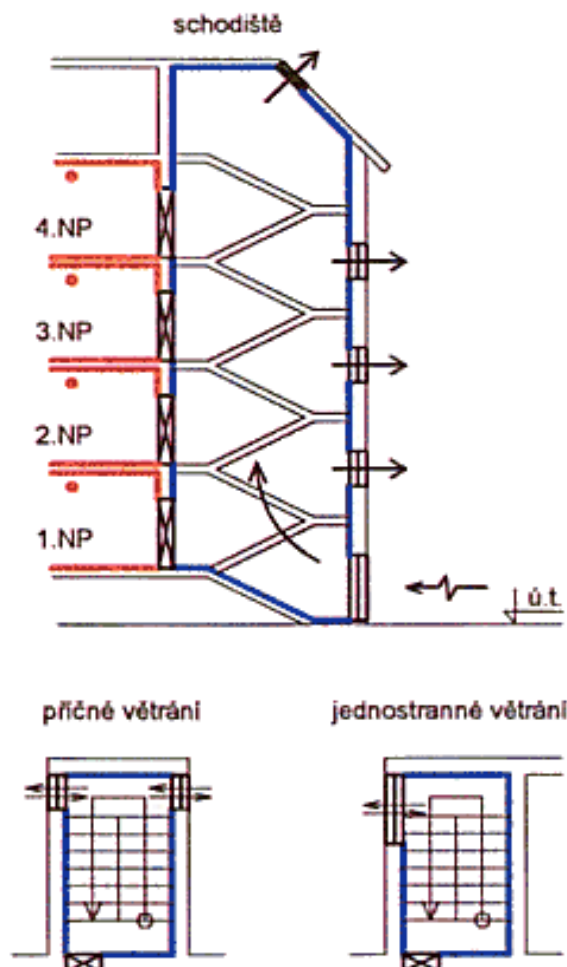


Obrázek 3 CHÚC typu A. Přirozené větrání pomocí otvorů v nejvyšším a nejnižším místě [16]

b) Větrání pomocí otevíratelných otvorů v každém podlaží

V CHÚC typu A, B s požární předsíní je možné aplikovat otevíratelné otvory (například dveře a okna – obrázek 4). Dělí se na dva případy a to, zda otvor umožní či neumožní větrání ÚC příčně. Jedná se vlastně o otvory, které mají minimální plochu 2 m^2 či 1 m^2 v každém podlaží. Velikost otvorů se zvětšuje alespoň o 25 % u CHÚC typu B s požární předsíní. Pokud je v objektech vyšších jak 22, 5 m CHÚC typu A větrána přirozeně, tak se použije kombinace větrání otevíratelnými otvory s větráním pomocí otvorů v nejvyšším a nejnižším místě. Dané otvory se musí otevírat bez použití pomocného zařízení a musí být nejvýše 1,8 m nad úrovní podlahy [6]. Pokud je plocha CHÚC větší, jak 20 m^2 , tak se

dimenzují otevíratelné plochy podle půdorysné plochy CHÚC v podlaží a to na 5 % při příčném větrání a 10 % při jednostranném větrání.



Obrázek 4 CHÚC typu A. Přirozené větrání otevíratelnými otvory [16]

c) Větrání pomocí větracích průduchů

Větrací průduchy budou umístěny v každém podlaží CHÚC, s přítokem čerstvého vzduchu u podlahy a odtokem vzduchu u stropu. Každý průduch musí mít průřezovou plochu rovnající se v každém podlaží nejméně 1 % podlahové plochy té části ÚC, kterou má odvětrat. Pokud je možné vyústění průduchu uzavřít v každém podlaží, aby nemohl kouř pronikat průduchem mezi jednotlivými podlažími, mohou být přítokové i odtokové průduchy společné pro více podlaží. Potom se určí plocha každého průduchu jako aritmetický průměr obou průřezových ploch průduchu ve vyústění. Tento způsob větrání patří mezi nejméně obvyklé způsoby větrání[6, 12].

5.1.2 Nucené odvětrávání

Nucené odvětrávání zajišťuje desetinásobnou výměnu objemu prostoru CHÚC typu A za hodinu. Intenzitu u CHÚC typu B je nutné zvýšit o 25 %. Odvod vzduchu je prováděn pomocí šachet či průduchu. Pokud se v objektu nachází více jak jedno podzemní podlaží, tak se musí použít nucené odvětrávání.

5.2 Chráněná úniková cesta typu B

CHÚC typu B je od ostatních požárních úseků oddělena pomocí požárních uzávěrů otvorů. Má samostatně odvětranou předsíň s požárními dveřmi, které se samočinně zavírají a zabraňují proniknutí kouře. Okno o minimální ploše $1,4 \text{ m}^2$ je vhodné pro odvětrání požární předsíně. Další zařízení pro odvětrání požární předsíně jsou větrací průduchy s odtokem vzduchu u stropu a s přítokem u podlahy, o minimální průřezové ploše $0,15 \text{ m}^2$ a to v každém podlaží. Ostatní části CHÚC typu B musí být odvětrávány obdobně jako CHÚC typu A. Dodávka vzduchu musí být zajištěna po dobu minimálně 30 minut, pokud bude použito nucené větrání. Osoby se zde mohou bezpečně pohybovat během požáru po dobu maximálně 15 minut [6, 7]. Po dobu 30 minut (i během požáru) musí být funkční nouzové osvětlení umístěné v CHÚC typu B.

Půdorysnou plochu 5 m^2 a nejmenší půdorysný rozměr $1,2 \text{ m}$ musí mít požární předsíň. Pokud bude požární předsíň využita více jak 40 osobami schopného samostatného pohybu, mezi kterými je více jak 10 osob s omezenou schopností pohybu nebo bude využita více než 60 osobami schopných samostatného pohybu, tak musí mít půdorysnou plochu minimálně 10 m^2 s půdorysným rozměrem $2,4 \text{ m}$. Půdorysná plocha se zvětší o 3 m^2 , pokud je z požární předsíně vstup do požárního či evakuačního výtahu [1].

CHÚC typu B je dispozičně shodná s CHÚC typu A, která je vybavena přetlakovým větráním. Přetlak minimálně 25 Pa musí být mezi přilehlými požárními úseky a CHÚC. Přetlak minimálně 12,5 Pa musí být v přilehlých požárních úsecích, pokud jsou vybaveny samočinným stabilním hasicím zařízením. Tyto přetlaky platí pro nevýrobní objekty. U výrobních objektů je to 50 Pa a 25 Pa. Nejméně v patnáctinásobku objemu za hodinu prostoru CHÚC musí být dodáván vzduch. Přetlak však nemůže přesáhnout 100 Pa. Dodávka vzduchu musí být zajištěna po dobu minimálně 30 minut (u nevýrobních objektů), eventuálně po dobu 45 minut, pokud tato ÚC slouží jako zásahová cesta [6, 7]. Dveře do CHÚC musí

zabránit proniknutí kouře a mít požadovanou požární odolnost. U výrobních objektů je dodávka vzduchu zajištěna nejméně po dobu 20 minut.

5.3 Chráněná úniková cesta typu C

CHÚC typu C je řešena podobně jako CHÚC typu B. Osoby se zde mohou bezpečně pohybovat delší dobu a to až 30 minut. Nouzové osvětlení musí být funkční po dobu 45 minut i během požáru. Prostory požární předsíně a únikové komunikace musí být vybaveny přetlakovým větráním zcela nezávisle na ostatních vzduchotechnických zařízeních. Pomocí elektrického spínače umístěného v každém druhém podlaží CHÚC se musí zajistit ovládání přetlakové ventilace. Pokud je elektrickou požární signalizací zajištěno ovládání přetlakové ventilace, tak může být použito tlačítkových spínačů této signalizace umístěných nejméně v každém druhém podlaží CHÚC [2, 6].

U nevýrobních objektů musí být přetlak vzduchu minimálně 25 Pa mezi požární předsíní a prostorem ÚC. Pokud v požárním úseku je samočinné stabilní hasicí zařízení, tak minimální přetlak vzduchu musí být 12, 5 Pa. Přetlak však nesmí přesáhnout 100 Pa. Po dobu minimálně 45 minut musí být zajištěna dodávka vzduchu. Tato doba se může prodloužit na 60 minut, bude – li úniková cesta sloužit jako zásahová cesta [7].

Výrobní objekty musí mít přetlak vzduchu nejméně 50 Pa v prostoru mezi požární předsíní a prostorem ÚC. Jestliže se nachází v úseku sprinklerové stabilní hasicí zařízení, tak přetlak vzduchu musí být 25 Pa. Taktéž nesmí přetlak přesáhnout 100 Pa. Dodávka vzduchu musí být zajištěna po dobu minimálně 30 minut, 60 minut se použije, pokud bude ÚC sloužit jako zásahová [6].

6 Navrhování únikových cest

Při navrhování ÚC je nutné určit:

- předpokládanou dobu evakuace;
- počet evakuovaných osob s ohledem na jejich schopnost pohybu;
- vhodný typ ÚC, která zajistí bezpečný únik osob;
- dobu zakouření ohrožených prostorů;
- rozměry ÚC, jejich provedení, vybavení;
- zda je vhodné instalovat požární nebo evakuační výtah;
- vhodné odvětrávání;
- určit rozmístění ÚC a jejich počet [2].

6.1 Doba evakuace

Doba evakuace se určuje pro požární úseky, kde se posuzují podmínky evakuace a dále podle požadavků uvedených v normách (ČSN 73 0802, ČSN 73 0831, ČSN 73 0834). Předpokládaná doba evakuace se tedy vypočítá podle *vzorce 6.1*.

$$t_u = \frac{0,75 \cdot l_u}{v_u} + \frac{E \cdot s}{K_u \cdot u} \quad (6.1)$$

kde

- l_u délka únikové cesty (m);
- v_u rychlost pohybu osob (m/min);
- K_u kapacita jednoho únikového pruhu;
- u započitatelný počet únikových pruhů;
- E počet evakuovaných osob dle ČSN 73 0818;
- s součinitel vyjadřující podmínky evakuace.

Dále se také musí posoudit, zda osoby nejsou ohroženy zplodinami hoření a kouř nezaplnil prostor do úrovně 2,5 m nad podlahou. Tento časový limit se stanoví podle *vzorce 6.2* nebo dle množství uvolněných zplodin hoření a kouře. Současně také musí být splněna *podmínka 6.3*, která říká, že osoby musí odejít dříve, než budou kouřem ohroženi [2].

$$t_e = 1,25 \cdot \frac{\sqrt{h_s}}{a} \quad (6.2)$$

kde

- h_s světlá výška posuzovaného prostoru;
 a součinitel vyjadřující rychlost odhořívání.

$$t_u \leq t_e \quad (6.3)$$

kde

- t_e časový limit pro zakouření (min);
 t_u předpokládaná doba evakuace.

6.2 Počet evakuovaných osob

Podle normy ČSN 73 0818 se určí počet evakuovaných osob. Z požárních předpisů vychází počet osob, kterým je nutné umožnit bezpečný únik z objektu, vyšší, než je skutečný nebo projektovaný stav. Na půdorysnou plochu místnosti je vázán počet unikajících osob E podle již zmíněné normy. Nutnou podmínku evakuace v požárním úseku vyjadřuje součinitel s , který obsahuje následující faktory: duševní schopnost osob, fyzickou zdatnost, organizaci evakuace [2]. V normě ČSN 73 0802 jsou uvedeny hodnoty součinitele s . V některých případech je možné upravit počet evakuovaných osob. To lze provést následovně:

- Zvýšit o 25 %, pokud je v posuzované části půdorysná plocha připadající na jednu osobu větší než 10 m^2 , případně je větší jak $2,5 \text{ m}^2$ a současně je v požárním úseku instalované samočinné požární větrání či samočinné stabilní hasící zařízení.
- Snížit o 25%, pokud je v posuzované části půdorysná plocha připadající na jednu osobu menší než $1,5 \text{ m}^2$, případně pokud je ÚC zúžena nebo se na ni mohou nacházet překážky (například zavazadla, nákupní vozíky) [3].

6.3 Zvolení vhodného typu únikové cesty

Při navrhování ÚC v objektu je nutné, aby projektant zvážil, která ÚC bude nejvhodnější z hlediska požární bezpečnosti. NÚC se použije u objektů, které nepřesáhnou výšku 9 m. U vícepodlažních budov se použije CHÚC, jejichž druh je závislý na výšce objektu, jak je možno vidět v *tabulce 2*.

6.4 Rozměry únikových cest, jejich provedení, vybavení

Posuzování rozměrů ÚC podle normy ČSN 73 0804 je výhodnější jak podle ČSN 73 0802, protože nezáleží na ekonomickém ani požárním riziku.

- a) **Délka únikové cesty** - musí být vždy menší, jak mezní délka ÚC, jak uvádí *vzorec 6.4*. Od nejvzdálenějšího místa ÚC až k východu se měří skutečná délka ÚC a to vždy v ose cesty. Jestliže je součástí ÚC například schodiště, tak se započítává jeho délka půdorysným průmětem. Délky se posuzují hlavně u NÚC. Mezní délky NÚC pro nevýrobní objekty jsou uvedeny v příloze této diplomové práce. Pokud se stanovuje mezní délka ÚC u výrobních objektů, tak se použije *vzorec 6.5*. Pokud se stanovuje mezní délka u CHÚC typu A, tak se musí použít *vzorec 6.6*.

$$l_u \leq l_{u,\max} \quad (6.4)$$

$$l_{u,\max} = \frac{v_u}{0,75} \cdot (t_{u,\max} - \frac{E \cdot s}{K_u \cdot u}) \quad (6.5)$$

$$l_{CHÚC-A} \leq 120 \quad (6.6)$$

kde

$l_{u,\max}$	mezní délka ÚC (m);
$l_{CHÚC-A}$	skutečná délka CHÚC typu A;
l_u	skutečná délka ÚC (m) ;
v_u	rychlost pohybu osob (m/min);
K_u	kapacita jednoho únikového pruhu;
u	započítatelný počet únikových pruhů;
E	počet evakuovaných osob dle ČSN 73 0818;
s	součinitel vyjadřující podmínky evakuace.

- b) **Šířka únikové cesty** – posuzuje se vždy v nejužším místě, kterým může být východ z objektu, místnosti nebo tam, kde se počet evakuovaných osob mění. Šířka ÚC vychází z únikového pruhu, který má průchozí šířku 550 mm. Počet únikových pruhů u CHÚC je nejméně 1,5 (za vyhovující se považují dveře o šířce 800 mm), u NÚC to činí 1 únikový pruh [2]. Nejmenší počet únikových pruhů se určí podle rovnice 6.7 (ČSN 73 0802). Pokud jsou v místě unikající osoby s různou pohyblivostí, tak se použije vzorec 6.8 (ČSN 73 0802). Použitelné šířky CHÚC jsou uvedeny v tabulce 3. Pro výrobní objekty se počítá šířka ÚC dle vzorce 6.9.

$$u = \frac{E \cdot s}{K} \quad (6.7)$$

$$u = \frac{E_1 \cdot s_1 + E_2 \cdot s_2 + E_3 \cdot s_3}{K} \quad (6.8)$$

$$u_{\min} = \frac{E \cdot s}{K_u \cdot (t_{u,\max} - \frac{0,75 \cdot l_u}{v_u})} \quad (6.9)$$

kde

E	počet evakuovaných osob v posuzovaném místě;
s	součinitel vyjadřující podmínky evakuace;
K	počet evakuovaných osob v jednom únikovém pruhu;
index 1	týká se osob schopných samostatného pohybu;
index 2	týká se osob s omezenou schopností pohybu;
index 3	týká se osob neschopných samostatného pohybu;
$t_{u,\max}$	mezí doba evakuace (min) ;
l_u	skutečná délka ÚC (m) ;
v_u	rychlost pohybu osob (m/min).

Počet únikových pruhů	Výšková poloha [m]	Poznámka
4	$9 < h_p \leq 22,5$	nebo u cest z prvního podzemního podlaží
3	$22,5 < h_p \leq 45$	nebo u cest z druhého podzemního podlaží
2,5	$h_p > 45 \text{ m}$	nebo u cest ze třetího a dalších podzemních podlaží

Tabulka 3 Použitelné šířky CHÚC [1]

c) **Provedení a vybavení ÚC** – mezi základní požadavky na provedení a vybavení ÚC patří:

- Osvětlení - ať již umělé nebo denní. Pro nouzové osvětlení musí mít CHÚC zajištěnu dodávku elektrické energie ze dvou nezávislých zdrojů.
- Domácí rozhlas – zřizuje se na základě požadavku Hasičského záchranného sboru či při postupné evakuaci více jak 200 osob.
- Směr otevírání dveří – jen výjimečně se dveře otevírají proti směru úniku.
- Druh dveří podle funkčního vybavení, způsobu otevírání a uzavírání, kování.
- Motorické uzavření dveřních křídel – vždy se musí dveře i ručně otevřít.
- Označení požárními a bezpečnostními značkami [2].

6.5 Instalace evakuačního výtahu

Výtahy se mohou pro únik osob použít pouze tehdy, jsou-li navrženy jako evakuační.

Musí být zřízeny v objektech:

- zdravotnických zařízení dle normy ČSN 730835;
- s více jak třemi užitnými nadzemními podlažími, kde se vyskytuje více jak 10 osob neschopných samostatného pohybu nebo se sníženou schopností pohybu;
- kde se nalézá více jak 50 osob v objektech vyšších jak 45 m;
- kde to vyžadují jiné normy požární bezpečnosti.

Na evakuační výtahy jsou kladeny specifické požadavky:

- Při výpadku elektrické energie musí mít zajištěnu dodávku energie po dobu minimálně 45 minut a to z náhradního zdroje.
- Musí navazovat nebo být součástí CHÚC typu B, C.
- Jedna jízda nesmí přesáhnout dobu 2,5 minuty.
- Kabina musí být z nehořlavých hmot a mít příslušné rozměry.
- Mezi stanicemi nesmí zůstat stát kabina [1].

6.6 Požární odvětrání

Hlavním cílem požárního odvětrávání je chránit osoby před toxickými zplodinami a kouřem, které vznikají během požáru. Odvětrávání snižuje namáhání stavebních konstrukcí při tepelném působení. Požární odvětrávání může být členěno z více hledisek. Rozděluje se na dvě základní kategorie a to odvětrávání CHÚC a zařízení pro odvod kouře a tepla.

Odvody kouře a tepla (označováno jako samočinné odvětrávací zařízení) se navrhují v prostorách s požárním rizikem tak, aby byl usměrněn tok zplodin hoření a aby byla zachována nezakouřená vrstva vzduchu. Odvětrání u CHÚC má zabránit proniknutí zplodin kouře do těchto prostor [2]. Hlavní podmínky pro návrh zařízení pro odvod kouře a tepla jsou:

- velikost odvětrané sekce;
- součinnost stabilních hasicích zařízení;
- množství vyvinutého tepla;
- poloha neutrální roviny;
- velikost odtokových a přítokových otvorů.

6.7 Stanovení počtu únikových cest

Z každého místa objektu či požárního úseku musí vést minimálně dvě ÚC, které vedou různým směrem na volné prostranství. Použití jedné ÚC je omezeno a záleží na počtu unikajících osob, jak je možno vidět v *tabulce 4*. Jednu ÚC nejde použít v požárních úsecích, kde se vyskytuje více jak 12 osob neschopných samostatného pohybu nebo s omezenou schopností pohybu. Dále nelze jednu ÚC použít z požárního úseku s provozem skupiny 7, jestliže je v daném úseku pracovní místo pro pět či více osob [6].

Dovolené užití jedné ÚC	Mezní počet unikajících osob E-s	
	nadzemní podlaží	podzemní podlaží
z místnosti	100	25
z požárního úseku ¹	120	30
z objektu majícího:		
- pouze NÚC	120	30
- ČCHÚC ²	150	40
- CHÚC a objekt má		
≤ 3 požární úseky	200	50
> 3 požární úseky ³	neomezeno	50
¹ dle prvního bodu se řídí použití jedné ÚC, pokud má jen jednu místnost požární úsek. ² mezní počet unikajících osob se snižuje o 25 %, pokud ČCHÚC není odvětrávána. ³ pouze požární úseky z nichž přichází víc, jak 5 % osob evakuovaných po této cestě se započítávají. Počet evakuovaných osob z požárního úseku nesmí přesáhnout 40 %.		

Tabulka 4 Použití jedné ÚC [6]

7 Podrobné řešení přirozeného odvětrávání únikových cest

Vhodným umístěním otvorů ve stavbě je možné ovlivnit negativní účinek větru. Jedná se například o umístění odváděcích otvorů na závětrné straně a na návětrné straně umístit přívodní otvory. Při navrhování přirozeného větrání se u nevýrobních objektů může vycházet ze dvou variant. Buď se podle normových hodnot zvolí velikost ploch větracích otvorů, nebo se použije výpočtový způsob. V případě, že se bude vycházet z normových hodnot (velikost otevíratelných ploch bude například 2 m^2), tak se již účinnost větrání CHÚC daného objektu neověřuje. Při použití výpočtové možnosti je třeba vycházet ze zvýšené dvacetinásobné výměny vzduchu u CHÚC typu B a patnáctinásobné výměny vzduchu u CHÚC typu A. Normové výpočtové okrajové podmínky by měly být použity při výpočtu [11]. Jedná se o následující podmínky:

- na závětrné straně by měla být rychlost větru do 5 m/s ;
- teplotní rozdíl do 10 °C mezi vnějším prostředím a CHÚC;
- přihlédnout k podmínkám toku plynů, vzduchu v CHÚC;
- určuje se rychlost a vztlak proudění plynů, vzduchu při různých výškových úrovních požáru;
- v CHÚC zvýšená teplota nad úrovní požáru do 20 °C .

Plochy větracích otvorů mohou být nakonec menší nebo větší než 2 m^2 . Údaje o větru nejsou tak jasné, jako ostatní normové výpočtové podmínky. Zmíněná rychlost větru 5 m/s odpovídá pouze horským oblastem. Údaje pro většinu lokalit a měst jsou podstatně nižší (*tabulka 6*). Pro výpočty se počítá s působením větru na objekt jako celek (závětrná, návětrná, boční strana a střecha). Normové podmínky jsou pro počítání přirozeného větrání CHÚC nedostačující, proto jsou doplněny o další faktory [11]. Jedná se o následující podmínky:

- výšková vzdálenost větracích otvorů;
- rychlost a směr větru;
- rozdíl teplot mezi exteriérem a interiérem stavby;
- tlaková ztráta schodiště;
- tvar budovy;
- poloha větracích otvorů vůči větru;
- aerodynamický součinitel budovy;
- hodnoty výtokových a vtokových součinitelů větracích otvorů.

Hlavním faktorem přirozeného větrání je poloha větracích otvorů vůči směru větru. Nejméně vhodný je způsob, kdy odváděcí otvor je na návětrné straně. V takovém případě nedojde k přirozenému větrání z důvodu, že vítr překoná vztahové síly vyvolané rozdílem hustot vzduchu. To je hlavní důvod, aby se větrací otvory umístily jinde [11].

Diplomová práce je zaměřena na větrání ÚC pomocí otvorů umístěných na nejnižším a nejvyšším místě, protože tento způsob větrání je nejefektivnější. Je vynecháno větrání pomocí průduchů a také práce se nezaměřuje na větrání pomocí otvorů umístěných v každém podlaží. Je to z toho důvodu, že větrání pomocí průduchů se v ČR nepoužívá a při použití otvorů v každém podlaží se počítá s tím, že okna musí někdo otevřít, tudíž tento způsob je málo pravděpodobný a také na výpočet velmi komplikovaný. V ČR se hlavně tedy setkáváme s přirozeným odvětráváním umístěným v nejnižším a nejvyšším místě budovy. V následující části práce je uvedeno několik příkladů, ve kterých se určuje, zda je zajištěna požadovaná normová výměna vzduchu. Příklady se od sebe liší tím, že v prvním příkladu není zohledněn účinek větru na budovu, naopak ve druhém příkladu je zohledněn vítr a třetí příklad je zaměřen na změnu větracích otvorů. U příkladů je uveden přesný postup, jak se má počítat výměna vzduchu a vyhodnocení je uvedeno na konci příkladu.

7.1 Příklad 1 – bez působení větru

Nejprve je řešen příklad, kde se nebude zohledňovat působení větru. Je to hlavně z toho důvodu, protože se počítá s nejhorší možnou variantou a to je úplně bezvětrí. Jedná se tedy o osmipodlažní objekt nevýrobního charakteru, ve kterém se nachází CHÚC typu A. Má se ověřit, zda je zajištěna 15tinásobná výměna vzduchu pomocí otvorů umístěných v nejnižším a nejvyšším místě budovy. Rozměr dolního větracího otvoru (dveří) je 1,3 x 1,97 m, rozměr horního větracího otvoru (okna) je 1,46 x 1,44 m. Teplota venkovního vzduchu je zvolena 8,3 °C (průměrná roční hodnota z *tabulky 5*). V CHÚC je teplota vzduchu pod požárem 18 °C, nad požárem 38,6 °C (teplota směsi vnitřního vzduchu a kouře). Výtokový součinitel větracích otvorů je 0,6, osová vzdálenost mezi větracími otvory je 24,2 m, rozměry CHÚC jsou 4,3 x 5,6 m, v CHÚC je objem vzduchu 597 m³, konstrukční výška podlaží je 3,1 m, tlaková ztráta schodiště je 2 Pa na jedno podlaží. Horní větrací otvor je na závětrné straně a na návětrné straně je dolní otvor. Vzorce, které se používají během výpočtu, jsou ze skript [4].

Česká republika	Průměrná měsíční teplota vzduchu [°C]												Rok
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	-0,2	-5,2	5,2	8,4	14,4	16,9	18,2	18,2	13,3	7,4	4,9	-1,4	
													8,3

Tabulka 5 Průměrné měsíční teploty vzduchu v České republice [15]

Potřebné hodnoty pro výpočet:

$A_{př} = 1,3 \times 1,97 \text{ m}$	$t_{i1} = 18 \text{ °C}$	$H = 24,2 \text{ m}$
$A_{odv} = 1,46 \times 1,44 \text{ m}$	$t_{i2} = 38,6 \text{ °C}$	$S_{CHÚC} = 4,3 \times 5,6 \text{ m}^2$
$p_A = 98000 \text{ Pa}$	$C_{př} = 0,6 [-]$	$V_{zduch} = 597 \text{ m}^3$
$t = 8,3 \text{ °C}$	$C_{odv} = 0,6 [-]$	$p_{z,sch} = 2 \text{ Pa}$

Postup výpočtu:

1) Nejprve se spočítá hustota venkovního vzduchu, hustota v CHÚC pod a nad požárem.

$$\rho_e = \frac{p_A}{461,5 \cdot T} \cdot \frac{(1+x)}{(0,622+x)} = \frac{98000}{461,5 \cdot (273,15+8,3)} \cdot \frac{(1+0)}{(0,622+0)} = \underline{\underline{1,213 \text{ [kg/m}^3\text{]}}}$$

$$\rho_{i,1} = \frac{p_A}{461,5 \cdot T} \cdot \frac{(1+x)}{(0,622+x)} = \frac{98000}{461,5 \cdot (273,15+18)} \cdot \frac{(1+0)}{(0,622+0)} = \underline{\underline{1,172 \text{ [kg/m}^3\text{]}}}$$

$$\rho_{i,2} = \frac{p_A}{461,5 \cdot T} \cdot \frac{(1+x)}{(0,622+x)} = \frac{98000}{461,5 \cdot (273,15+38,6)} \cdot \frac{(1+0)}{(0,622+0)} = \underline{\underline{1,095 \text{ [kg/m}^3\text{]}}}$$

2) Celkový tlak, který je způsobený účinkem rozdílu teplot.

$$dp_{t,celk} = H \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) = 24,2 \cdot 9,81 \cdot (1,213 - 1,095) = \underline{\underline{28,013 \text{ [Pa]}}}$$

3) Tlaková ztráta schodiště

$$\square \cdot 2 = \underline{\underline{16 \text{ [Pa]}}}$$

4) Tlakový rozdíl v obou větracích otvorech, který je způsobený účinkem rozdílu hustot v dolním otvoru se snížením celkového vztlaaku o tlakovou ztrátu schodiště.

$$dp_{t,př} = \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_e}{\rho_i} \cdot \left(\frac{C_{př} \cdot A_{př}}{C_{odv} \cdot A_{odv}} \right)^2} = \frac{28,013 - 16}{1 + \frac{1,213}{1,095} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97}{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44} \right)^2} = \underline{\underline{4,544 \text{ [Pa]}}}$$

$$dp_{t,odv} = \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_i}{\rho_e} \cdot \left(\frac{C_{odv} \cdot A_{odv}}{C_{př} \cdot A_{př}} \right)^2} = \frac{28,013 - 16}{1 + \frac{1,095}{1,213} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44}{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97} \right)^2} = \underline{\underline{-7,469 [Pa]}}$$

5) Protože v daném příkladě se nezohledňuje vítr, tak výsledný rozdíl tlaků na vnější a vnitřní straně fasády je:

$$dp_{souch,př} = dp_{t,př} + dp_{w,nav} = 4,544 + 0 = \underline{\underline{4,544 [Pa]}}$$

$$dp_{souch,odv} = dp_{t,odv} + dp_{w,zav} = -7,469 + 0 = \underline{\underline{-7,469 [Pa]}} \quad (\text{podtlak na fasádě})$$

$$dp_{souch,př} = \underline{\underline{-4,544 [Pa]}}$$

$$dp_{souch,odv} = \underline{\underline{7,469 [Pa]}} \quad (\text{přetlak uvnitř CHÚC})$$

6) Celkový rozdíl tlaků větracích otvorů.

$$dp_{celk} = |dp_{souch,př}| + |dp_{souch,odv}| = |-4,544| + |7,469| = \underline{\underline{12,013 [Pa]}}$$

7) Hmotnostní průtoky větracími otvory. Dané průtoky jsou stejné, protože platí zákon zachování hmoty.

$$M_{př} = C_{př} \cdot A_{př} \cdot \left[2 \cdot \rho_e \cdot \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_e}{\rho_i} \cdot \left(\frac{C_{př} \cdot A_{př}}{C_{odv} \cdot A_{odv}} \right)^2} \right]^{0,5} = 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97 \cdot$$

$$\cdot \left[2 \cdot 1,213 \cdot \frac{12,013}{1 + \frac{1,213}{1,095} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97}{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44} \right)^2} \right]^{0,5} = \underline{\underline{5,102 [kg / s]}}$$

$$M_{odv} = C_{odv} \cdot A_{odv} \cdot \left[2 \cdot \rho_i \cdot \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_i}{\rho_e} \cdot \left(\frac{C_{odv} \cdot A_{odv}}{C_{př} \cdot A_{př}} \right)^2} \right]^{0,5} = 0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44 \cdot$$

$$\cdot \left[2 \cdot 1,095 \cdot \frac{12,013}{1 + \frac{1,095}{1,213} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44}{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97} \right)^2} \right]^{0,5} = \underline{\underline{5,102 [kg / s]}}$$

8) Objemový průtok přírodním a odvodním otvorem.

$$V_{př} = \frac{M_{př}}{\rho_e} = \frac{5,102}{1,213} = 4,206 [m^3 / s] = 15142 [m^3 / h] \square \underline{\underline{[n^3 / h]}}$$

$$V_{odv} = \frac{M_{odv}}{\rho_i} = \frac{5,102}{1,095} = 4,659 [m^3 / s] = 16774 [m^3 / h] = \underline{\underline{16800 [m^3 / h]}}$$

9) Rychlost vzduchu v přírodním a odvodním otvoru

$$v_{př} = \sqrt{\frac{2 \cdot dp_{souč,př}}{\rho_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,544}{1,213}} = \underline{\underline{2,737 [m / s]}}$$

$$v_{odv} = \sqrt{\frac{2 \cdot dp_{souč,odv}}{\rho_i}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7,469}{1,095}} = \underline{\underline{3,694 [m / s]}}$$

10) Rychlost proudění vzduchu v CHÚC

$$v_{CHÚC} = \frac{\frac{M}{\rho_o}}{A_{CHÚC,50}} = \frac{\frac{5,102}{((1,213 + 1,095) / 2)}}{(4,3 \cdot 5,6) / 2} = \underline{\underline{0,367 [m / s]}}$$

11) Poloha neutrální roviny

$$h_1 = H \cdot \frac{dp_{souč,př}}{dp_{celk}} = 24,2 \cdot \frac{4,544}{12,013} = \underline{\underline{9,154 [m]}}$$

$$h_2 = H \cdot \frac{dp_{souč,odv}}{dp_{celk}} = 24,2 \cdot \frac{7,469}{12,013} = \underline{\underline{15,046 [m]}}$$

12) Výměna vzduchu

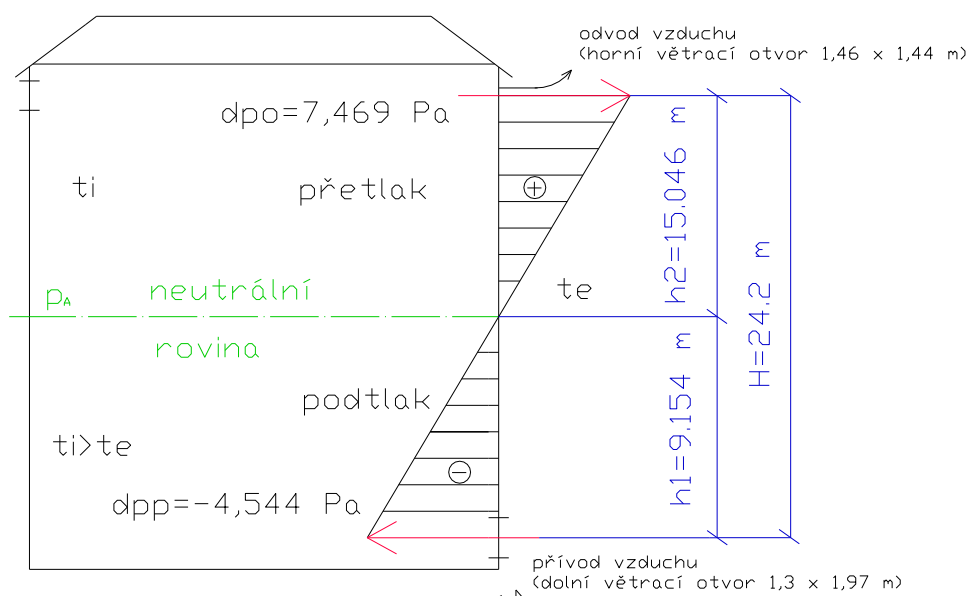
$$I_{VYP} = \frac{M \cdot 3600 / \rho_o}{V_{vzduch}} = \frac{(5,102 \cdot 3600) / ((1,213 + 1,095) / 2)}{597} = 26,660 \div 27 \underline{\underline{[h^{-1}]}}$$

13) Normová výměna vzduchu

$$I_N = \underline{\underline{15 h^{-1}}}$$

14) Shrnutí příkladu

Pokud se bude brát v úvahu to, že se nebude zohledňovat účinek větru, (který má vliv na funkčnost přirozeného větrání), tak navrhované větrané otvory splňují podmínku $I_{VYP} > I_N$. Tzn., že otvory jsou dostatečné a přirozené větrání bude účinné, i když bude bezvětrí. Tlakový diagram rozdílů teplot je uveden na *obrázku 5*.



Obrázek 5 Tlakový diagram rozdílů teplot

kde

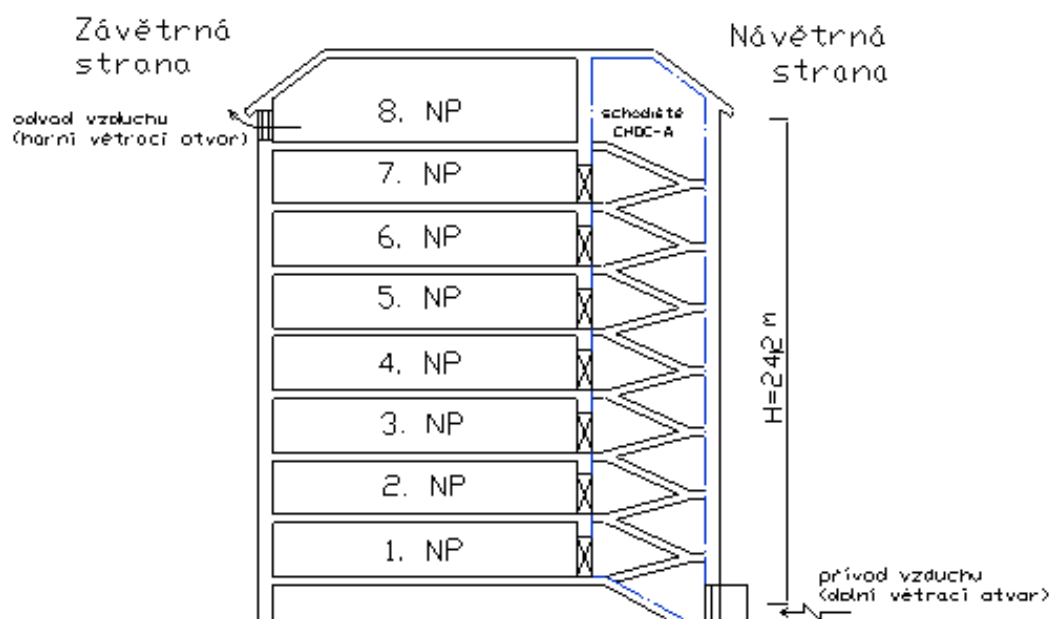
t_i	teplota interiéru [°C];
t_e	teplota exteriéru [°C];
p_a	atmosférický tlak [Pa];
d_{po}	tlakový rozdíl v horním větracím otvoru [Pa];
d_{pp}	tlakový rozdíl v dolním větracím otvoru [Pa];
h_1	osová vzdálenost dolního otvoru od neutrální roviny [m];
h_2	osová vzdálenost horního otvoru od neutrální roviny [m];
H	osová vzdálenost větracích otvorů [m].

7.2 Příklad 2 – zvětšené rozměry větracích otvorů

Jedná se o osmipodlažní objekt nevýrobního charakteru, ve kterém se nachází CHÚC typu A (obrázek 6). Má se ověřit, zda je zajištěna 15tinásobná výměna vzduchu pomocí otvorů umístěných v nejnižším a nejvyšším místě budovy. Rozměr dolního větracího otvoru (dveří) je 1,3 x 1,97 m, rozměr horního větracího otvoru (okna) je 1,46 x 1,44 m. Teplota venkovního vzduchu je zvolena 8,3 °C (průměrná roční hodnota z *tabulky 5*). V CHÚC je teplota vzduchu pod požárem 18 °C, nad požárem 38,6 °C (teplota směsi vnitřního vzduchu a kouře). Výtokový součinitel větracích otvorů je 0,6, osová vzdálenost mezi větracími otvory je 24,2 m, rozměry CHÚC jsou 4,3 x 5,6 m, v CHÚC je objem vzduchu 597 m³, konstrukční výška podlaží je 3,1 m, tlaková ztráta schodiště je 2 Pa na jedno podlaží, celoroční průměrná rychlost větru je 3,39 m/s (*tabulka 6*), aerodynamický součinitel závětrné strany činí -0,3 (*tabulka 7*), aerodynamický součinitel návětrné strany činí +0,6 (*tabulka 7*). Horní větrací otvor je na závětrné straně a na návětrné straně je dolní otvor.

Průměrná měsíční rychlost větru [m/s]												Rok 2012
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	3,39
3,7	3,7	4,1	3,4	2,7	3,4	4,1	4,1	4,7	2,4	2,4	2	

Tabulka 6 Průměrná měsíční rychlost větru [14]



Obrázek 6 Přírozené větrání v CHÚC-A s větracími otvory na nejvyšším a nejnižším místě

Část budovy	Aerodynamický součinitel	Standardně užívaný aerodynamický součinitel A_{nav} ,
	$A_{nav}, A_{zav}, A_{str} [-]$	$A_{zav}, A_{str}, A_{bok} [-]$
Závětrná strana	-0,3 až -0,6	-0,3
Návětrná strana	+0,5 až +0,9	+0,6

Tabulka 7 Hodnoty aerodynamických součinitelů budovy [4]

Postup výpočtu:

1) Nejprve se spočítá hustota venkovního vzduchu, hustota v CHÚC pod a nad požárem.

$$\rho_e = \frac{p_A}{461,5 \cdot T} \cdot \frac{(1+x)}{(0,622+x)} = \frac{98000}{461,5 \cdot (273,15+8,3)} \cdot \frac{(1+0)}{(0,622+0)} = \underline{\underline{1,213 [kg/m^3]}}$$

$$\rho_{i,1} = \frac{p_A}{461,5 \cdot T} \cdot \frac{(1+x)}{(0,622+x)} = \frac{98000}{461,5 \cdot (273,15+18)} \cdot \frac{(1+0)}{(0,622+0)} = \underline{\underline{1,172 [kg/m^3]}}$$

$$\rho_{i,2} = \frac{p_A}{461,5 \cdot T} \cdot \frac{(1+x)}{(0,622+x)} = \frac{98000}{461,5 \cdot (273,15+38,6)} \cdot \frac{(1+0)}{(0,622+0)} = \underline{\underline{1,095 [kg/m^3]}}$$

2) Celkový tlak, který je způsobený účinkem rozdílu teplot.

$$dp_{t,celk} = H \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) = 24 \cdot 9,81 \cdot (1,213 - 1,095) = \underline{\underline{28,014 [Pa]}}$$

3) Tlaková ztráta schodiště

$$\square \cdot 2 = \underline{\underline{16 [Pa]}}$$

4) Tlakový rozdíl v obou větracích otvorech, který je způsobený účinkem rozdílu hustot v dolním otvoru se snížením celkového vztlaku o tlakovou ztrátu schodiště.

$$dp_{t,př} = \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_e}{\rho_i} \cdot \left(\frac{C_{př} \cdot A_{př}}{C_{odv} \cdot A_{odv}} \right)^2} = \frac{28,014 - 16}{1 + \frac{1,213}{1,095} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97}{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44} \right)^2} = \underline{\underline{4,544 [Pa]}}$$

$$dp_{t,odv} = \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_i}{\rho_e} \cdot \left(\frac{C_{odv} \cdot A_{odv}}{C_{př} \cdot A_{př}} \right)^2} = \frac{28,014 - 16}{1 + \frac{1,095}{1,213} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44}{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97} \right)^2} = \underline{\underline{-7,470 [Pa]}}$$

5) V tomto případě se počítá účinek větru na návětrné a závětrné straně.

$$dp_{w,nav} = A_{nav} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e = 0,6 \cdot \frac{3,39^2}{2} \cdot 1,213 = \underline{\underline{4,182 [Pa]}}$$

$$dp_{w,zav} = A_{zav} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e = -0,3 \cdot \frac{3,39^2}{2} \cdot 1,213 = \underline{\underline{-2,091 [Pa]}}$$

6) Výsledný rozdíl tlaků na vnější straně fasády.

$$dp_{souč,př} = dp_{t,př} + dp_{w,nav} = 4,544 + 4,182 = \underline{\underline{8,726 [Pa]}}$$

$$dp_{souč,odv} = dp_{t,odv} + dp_{w,zav} = -7,470 - 2,091 = \underline{\underline{-9,561 [Pa]}} \quad (\text{podtlak na fasádě})$$

7) Výsledný rozdíl tlaků na vnitřní straně fasády.

$$dp_{souč,př} = \underline{\underline{-8,726 [Pa]}}$$

$$dp_{souč,odv} = \underline{\underline{9,561 [Pa]}} \quad (\text{přetlak uvnitř CHÚC})$$

8) Celkový rozdíl tlaků větracích otvorů.

$$dp_{celk} = |dp_{souč,př}| + |dp_{souč,odv}| = |-8,726| + |9,561| = \underline{\underline{18,287 [Pa]}}$$

9) Hmotnostní průtoky větracími otvory. Dané průtoky jsou stejné, protože platí zákon zachování hmoty.

$$M_{př} = C_{př} \cdot A_{př} \cdot \left[2 \cdot \rho_e \cdot \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_e}{\rho_i} \cdot \left(\frac{C_{př} \cdot A_{př}}{C_{odv} \cdot A_{odv}} \right)^2} \right]^{0,5} = 0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97 \cdot$$

$$\cdot \left[2 \cdot 1,213 \cdot \frac{18,287}{1 + \frac{1,213}{1,095} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97}{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44} \right)^2} \right]^{0,5} = \underline{\underline{6,295 [kg / s]}}$$

$$M_{odv} = C_{odv} \cdot A_{odv} \cdot \left[2 \cdot \rho_i \cdot \frac{dp_{celk}}{1 + \frac{\rho_i}{\rho_e} \cdot \left(\frac{C_{odv} \cdot A_{odv}}{C_{př} \cdot A_{př}} \right)^2} \right]^{0,5} = 0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44 \cdot$$

$$\cdot \left[2 \cdot 1,095 \cdot \frac{18,287}{1 + \frac{1,095}{1,213} \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,46 \cdot 1,44}{0,6 \cdot 1,3 \cdot 1,97} \right)^2} \right]^{0,5} = \underline{\underline{6,295 [kg / s]}}$$

10) Objemový průtok přívodním a odvodním otvorem.

$$V_{př} = \frac{M_{př}}{\rho_e} = \frac{6,295}{1,213} = 5,190 [m^3 / s] = 18684 [m^3 / h] \quad \square \quad \underline{\underline{[n^3 / h]}}$$

$$V_{odv} = \frac{M_{odv}}{\rho_i} = \frac{6,295}{1,095} = 5,749 [m^3 / s] = 20696 [m^3 / h] = \underline{\underline{20700 [m^3 / h]}}$$

11) Rychlost vzduchu v přívodním a odvodním otvoru

$$v_{př} = \sqrt{\frac{2 \cdot dp_{souč, př}}{\rho_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 8,726}{1,213}} = \underline{\underline{3,793 [m / s]}}$$

$$v_{odv} = \sqrt{\frac{2 \cdot dp_{souč, odv}}{\rho_i}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,561}{1,095}} = \underline{\underline{4,179 [m / s]}}$$

12) Rychlost proudění vzduchu v CHÚC

$$v_{CHÚC} = \frac{M}{\rho_o A_{CHÚC,50}} = \frac{6,295}{((1,213 + 1,095)/2) \cdot (4,3 \cdot 5,6)/2} = \underline{\underline{0,453[m/s]}}$$

13) Poloha neutrální roviny

$$h_1 = H \cdot \frac{dp_{souč,př}}{dp_{celk}} = 24,2 \cdot \frac{8,726}{18,287} = \underline{\underline{11,548[m]}}$$

$$h_2 = H \cdot \frac{dp_{souč,odv}}{dp_{celk}} = 24,2 \cdot \frac{9,561}{18,287} = \underline{\underline{12,652[m]}}$$

14) Výměna vzduchu

$$I_{VYP} = \frac{M \cdot 3600 / \rho_o}{V_{vzduch}} = \frac{(6,295 \cdot 3600) / ((1,213 + 1,095)/2)}{597} = \underline{\underline{32,894 \div 33[h^{-1}]}}$$

15) Normová výměna vzduchu

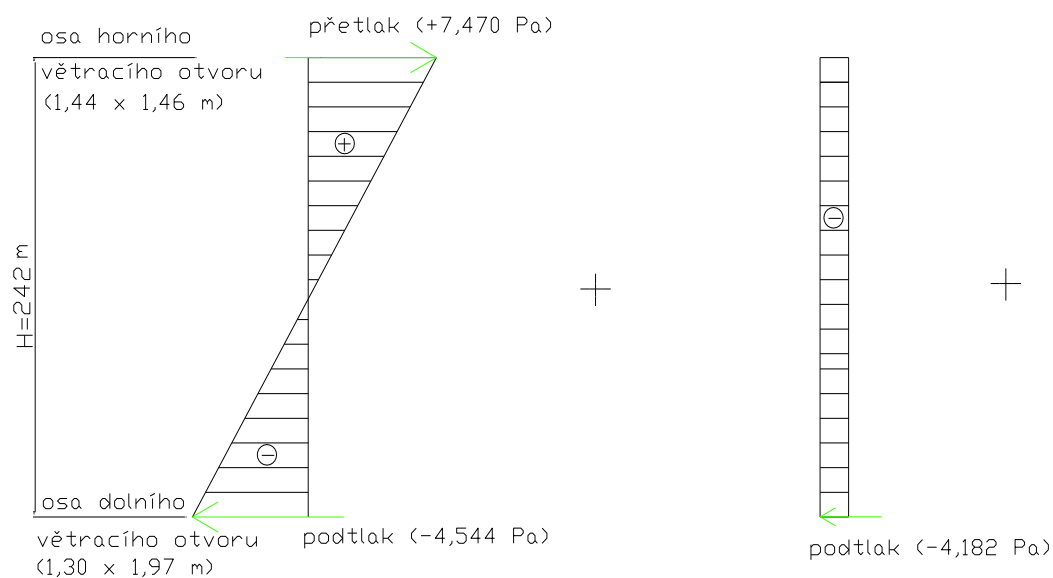
$$I_N = \underline{\underline{15h^{-1}}}$$

16) Shrnutí příkladu

Pokud se počítá přirozené větrání s účinkem větru, tak je závěr takový, že navrhované větrané otvory splňují podmínku $I_{VYP} > I_N$. Otvory pro přívod a odvod vzduchu by mohly být klidně i menší, protože vyšla dvojnásobně vyšší výměna vzduchu než určuje norma. Na *obrázku 7* jsou uvedeny výsledné tlakové diagramy daného příkladu.

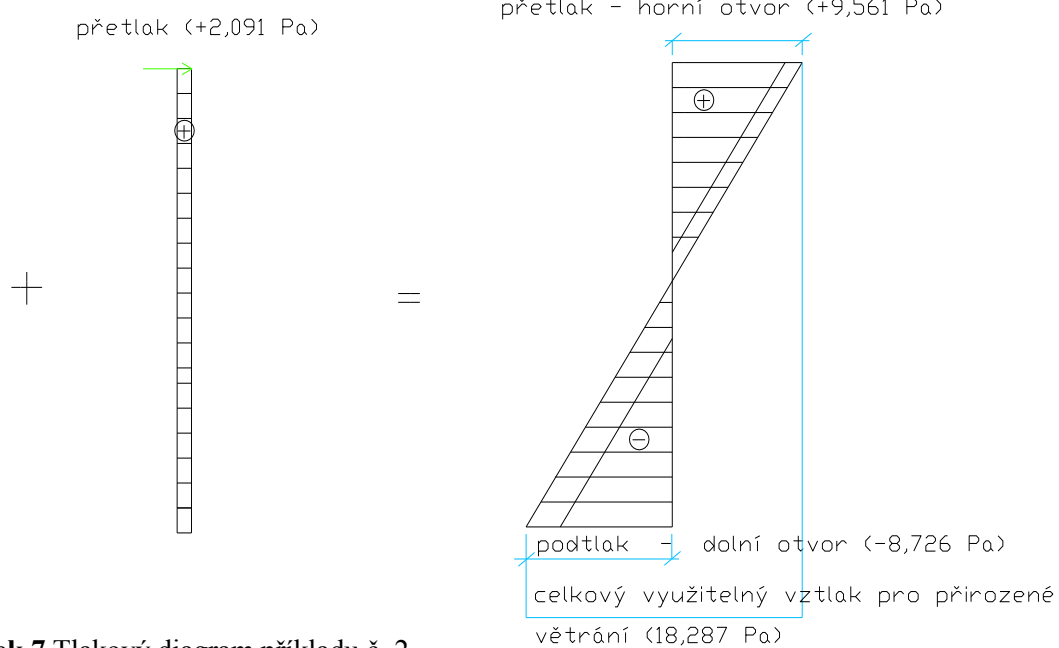
Účinek rozdílu teplot snížený o tlakovou ztrátu schodiště

Působení větru na návětrné straně



Působení větru na závětrné straně

Výsledný tlakový účinek



Obrázek 7 Tlakový diagram příkladu č. 2

7.3 Příklad 3 – zmenšené rozměry větracích otvorů

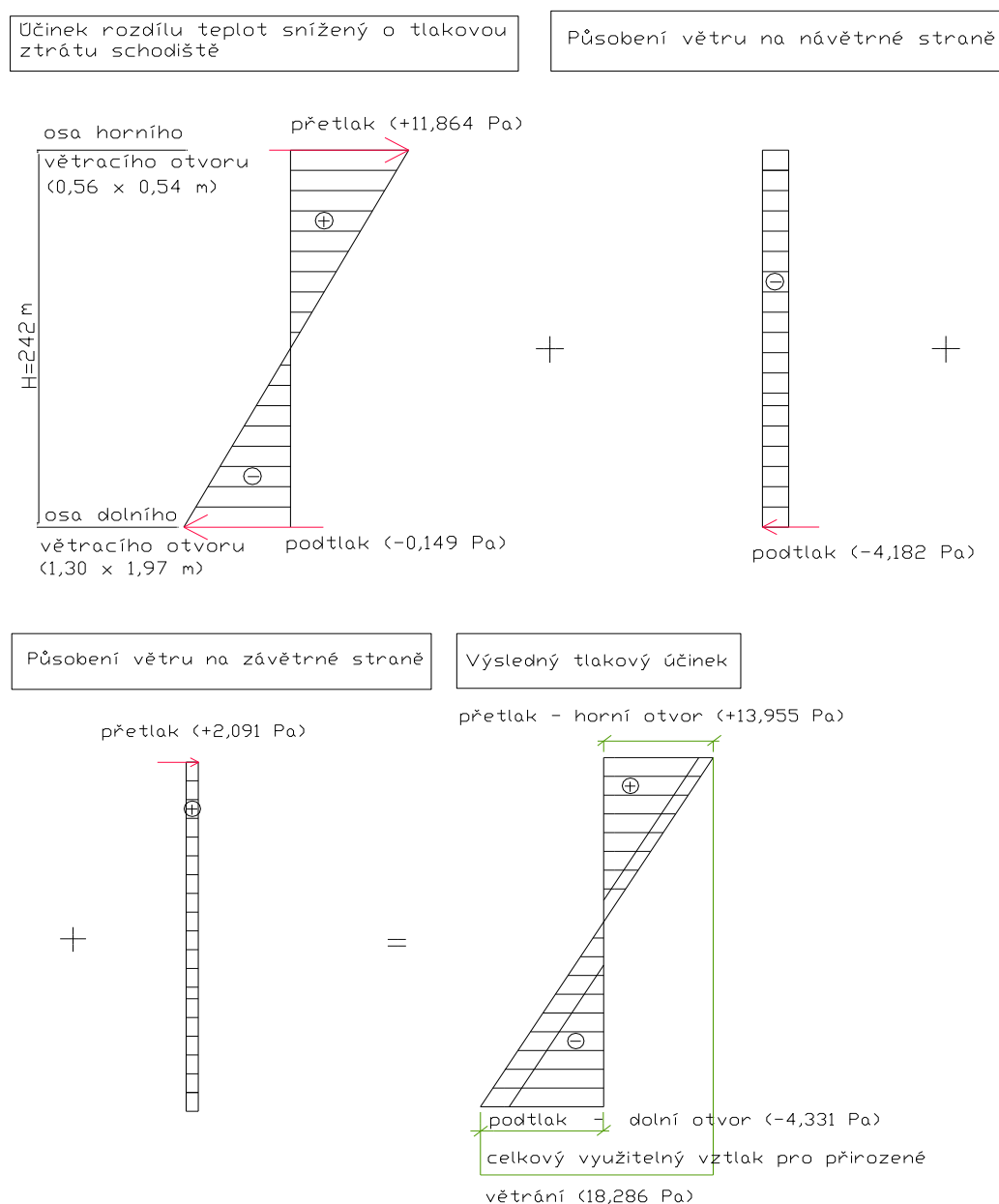
Příklad 3 vychází ze stejného zadání, jak příklad 2. Jen budou změněny rozměry větracích otvorů na menší hodnoty. Rozměr dolního větracího otvoru (dveří) je 1,3 x 1,97 m, rozměr horního větracího otvoru (okna) je 0,56 x 0,54 m. Vzorce použité pro výpočet jsou použity ze stejného zdroje a výsledky jsou zapsány do *tabulky 8* [4].

Počítaná hodnota	Označení	Výsledek	Jednotka
Hustota venkovního vzduchu	ρ_e	1,213	kg/m ³
	$\rho_{i,1}$	1,172	kg/m ³
	$\rho_{i,2}$	1,095	kg/m ³
Tlak způsobený účinkem rozdílu teplot	$dp_{t,celk}$	28,014	Pa
Tlaková ztráta schodiště	$dp_{z,sch}$	16	Pa
Rozdíl tlaků	$dp_{t,př}$	0,149	Pa
	$dp_{t,odv}$	-11,864	
Účinek větru	$dp_{w,nav}$	4,182	Pa
	$dp_{w,zav}$	-2,091	
Rozdíl tlaků na vnější straně fasády	$dp_{souč,př}$	4,331	Pa
	$dp_{souč,odv}$	-13,955	
Rozdíl tlaků na vnitřní straně fasády	$dp_{souč,př}$	-4,331	Pa
	$dp_{souč,odv}$	13,955	
Celkový rozdíl tlaků větracích otvorů	dp_{celk}	18,286	Pa
Hmotnostní průtoky	$M_{př} = M_{odv}$	1,141 = 1,141	kg/s
Objemové průtoky	$V_{př}$	3400	m ³ /h
	V_{odv}	3800	
Rychlost vzduchu	$v_{př}$	2,672	m/s
	v_{odv}	5,049	
Poloha neutrální roviny	h_1	5,732	m
	h_2	18,468	
Výpočtová výměna vzduchu	I_{vyp}	5,96	h ⁻¹
Normová výměna vzduchu	I_n	15	h ⁻¹

Tabulka 8 Výsledné hodnoty příkladu 3

U daného příkladu rozměry větracích otvorů nejsou dostatečné, protože vyšlo $I_{\text{vyp}} < I_n$. Z toho důvodu by bylo přirozené větrání neúčinné a je tedy vhodné pro zajištění bezpečného větrání zvětšit rozměry otvorů. Tlakový diagram příkladu je uveden na *obrázku 8*.

Následně je počítáno, jaký vliv má na přirozené větrání rozměr větracích otvorů a výsledky jsou uvedeny do *tabulky 9*. Počítalo se s tím, že přiváděcí otvor bude na návětrné straně a odváděcí otvor na závětrné straně. Rozměry větracích otvorů jsou brány od výrobců oken a dveří. Jedná se o srovnání objektů s různou výškou a proměnlivou teplotou pod a nad místem požáru. V podstatě lze říct, že pokud budou navrženy rozměry větracích otvorů dostatečně velké, tak je zajištěna výměna vzduchu. Samozřejmě záleží na tom, jaké je roční období, což výrazně ovlivní funkčnost větrání.



Obrázek 8 Tlakový diagram příkladu 3

Rozměry dolního větracího otvoru		Rozměry horního větracího otvoru		Počet podlaží	$p_{z,sch}$	H	$t_{ven. \text{ vzduch}}$	$t_{CHÚCpod}$	$t_{CHÚCnad}$	w	$C_{pf,odv}$	$S_{CHÚC}$	A_{nav}	A_{zav}	I_{vyp}	Vyhovují- nevyhovují otvory
šířka [m]	výška [m]	šířka [m]	výška [m]	[-]	[Pa]	[m]	[°C]	[°C]	[°C]	[m/s]	[-]	[m²]	[-]	[-]	[h⁻¹]	
1,3	1,97	0,86	0,54	11	2	31	8,3	17,7	38,4	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	5,201	✗
1,3	1,97	1,16	0,54	11	2	31	8,3	17,7	38,4	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	6,933	✗
1,3	1,97	1,46	0,54	11	2	31	8,3	17,7	38,4	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	8,599	✗
0,9	1,97	1,16	0,84	5	2	12,4	8,3	17,7	38,8	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	5,592	✗
0,9	1,97	1,46	0,84	11	2	31	8,3	17,7	38,8	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	11,828	✗
0,9	1,97	0,86	1,14	13	2	37,2	8,3	17,7	38,8	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	11,101	✗
0,9	1,97	0,86	1,44	15	2	43,4	8,3	18,3	38,8	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	14,374	✗
0,9	1,97	0,86	2,1	12	2	34,1	8,3	18,3	38,8	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	15,81	✓
0,9	1,97	1,16	1,14	11	2	31	8,3	18,3	38,1	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	12,112	✗
0,9	1,97	1,76	1,14	11	2	31	8,3	18,3	38,1	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	15,337	✓
0,9	1,97	2,06	1,14	11	2	31	8,3	18,3	38,1	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	16,397	✓
0,9	1,97	2,06	1,44	13	2	37,2	8,3	18,3	38,1	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	18,186	✓
1,3	1,97	2,36	1,44	13	2	37,2	8,3	18,3	38,1	3,39	0,6	26,4	0,6	-0,3	26,287	✓

Tabulka 9 Účinnost přirozeného větrání

7.4 Grafické vyhodnocení závislosti ploch otvorů na výměně vzduchu

Z důvodů lepší přehlednosti jsou v závěrečné části uvedeny grafy, které vyjadřují závislost ploch větracích otvorů na výměně vzduchu. Grafy uvádějí, zda navržené otvory jsou vyhovující pro výměnu vzduchu. U jednotlivých grafů, které jsou následně znázorněny i v příloze F jsou měněny pouze rozměry dolního větracího otvoru (dále jen “DVO”) a rozměry horního větracího otvoru, jejichž hodnoty jsou brány podle výrobců oken a dveří. Také se mění teplota venkovního vzduchu v závislosti na letním a zimním období. Letní období se bere od dubna do září a zimní období je bráno od října do března. Teploty pro tyto období jsou brány jako průměry z celé ČR. Ostatní hodnoty potřebné pro výpočet výměny vzduchu jsou konstantní a jedná se o tyto:

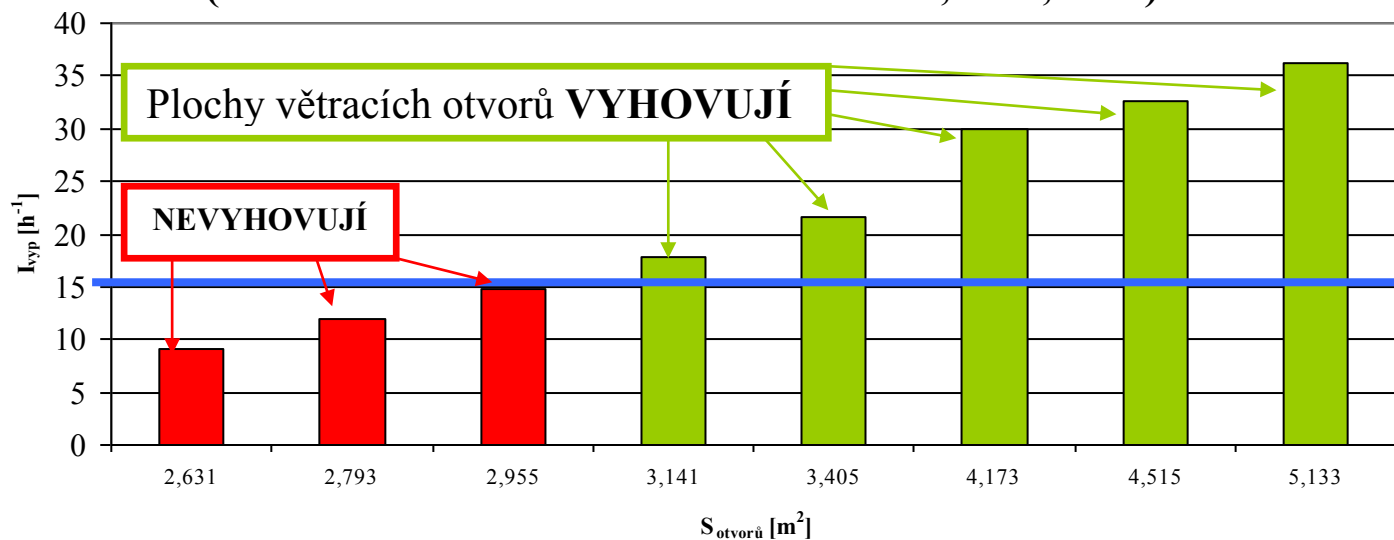
- Objekt má 9 podlaží.
- Vzdálenost mezi větracími otvory činní 24,8 m.
- Teplota v CHÚC pod požárem je 17,7 °C.
- Teplota v CHÚC nad požárem je 38,5 °C.
- Průměrná celoroční rychlost větru v ČR je 3,39 m/s.
- Výtokový součinitel větracích otvorů je 0,6.

Jedná se o objekt s CHÚC typu A, tudíž musí být zajištěna patnáctinásobná výměna vzduchu. Vodorovná čára v grafech představuje hranici, která určuje, zda jsou plochy otvorů dostatečné. V případě, že plocha otvorů překračuje čáru nebo je jí rovna, tak jsou rozměry otvorů vyhovující. Pokud se plocha otvorů nachází pod čarou, tak jsou rozměry nevyhovující. Ze získaného grafu 1 jehož výsledky vychází z tabulky 10, která platí pro zimní období je patrné, že výměna vzduchu bude zajištěna, pokud součet ploch větracích otvorů bude alespoň 3 m². V případě menší plochy otvorů nebude zajištěna dostatečná výměna vzduchu. V letním období, pro které platí graf 2 a tomu odpovídající tabulka 11 je výměna vzduchu ovlivněna teplotou, která činí 14,9 °C. Během tohoto období při ploše větracích otvorů například 2,6 m² nebude zajištěna výměna vzduchu, protože je venkovní teplota příliš vysoká pro správné fungování. Teprve při dostatečném navržení větracích otvorů bude výměna vzduchu účinná. Jedná se například o plochu 3,7 m², která by zajistila potřebnou výměnu vzduchu. Z vypočítaných hodnot je patrné, že nejméně vhodné by bylo, pokud by požár nastal v letním období, protože by nedošlo k potřebné výměně vzduchu oproti zimnímu období. Rozhodujícím faktorem pro funkční větrání nejsou jen rozměry otvorů, ale také teplota venkovního vzduchu.

Rozměry dolního větracího otvoru		Rozměry horního větracího otvoru		Počet podlaží	$p_{z,sch}$	H	$t_{ven. \text{ vzduch}}$
šířka [m]	výška [m]	šířka [m]	výška [m]	[-]	[Pa]	[m]	[°C]
1,1	1,97	0,86	0,54	9	2	24,8	1,8
1,1	1,97	1,16	0,54	9	2	24,8	1,8
1,1	1,97	1,46	0,54	9	2	24,8	1,8
1,1	1,97	1,16	0,84	9	2	24,8	1,8
1,1	1,97	0,86	1,44	9	2	24,8	1,8
1,1	1,97	1,76	1,14	9	2	24,8	1,8
1,1	1,97	2,06	1,14	9	2	24,8	1,8
1,1	1,97	2,06	1,44	9	2	24,8	1,8
$t_{CHÚCpod}$	$t_{CHÚCnad}$	w	$C_{př,odv}$	$S_{otvorů}$	A_{nav}	A_{zav}	I_{vyp}
[°C]	[°C]	[m/s]	[-]	[m ²]	[-]	[-]	[h ⁻¹]
17,7	38,5	3,39	0,6	2,631	0,6	-0,3	9,033
17,7	38,5	3,39	0,6	2,793	0,6	-0,3	11,992
17,7	38,5	3,39	0,6	2,955	0,6	-0,3	14,801
17,7	38,5	3,39	0,6	3,141	0,6	-0,3	17,810
17,7	38,5	3,39	0,6	3,405	0,6	-0,3	21,650
17,7	38,5	3,39	0,6	4,173	0,6	-0,3	30,040
17,7	38,5	3,39	0,6	4,515	0,6	-0,3	32,657
17,7	38,5	3,39	0,6	5,133	0,6	-0,3	36,138

Tabulka 10 Hodnoty potřebné pro určení závislosti plochy otvorů na výměně vzduchu

Závislost ploch větracích otvorů na výměně vzduchu (zimní období - dolní otvor o rozměru 1,1 x 1,97 m)

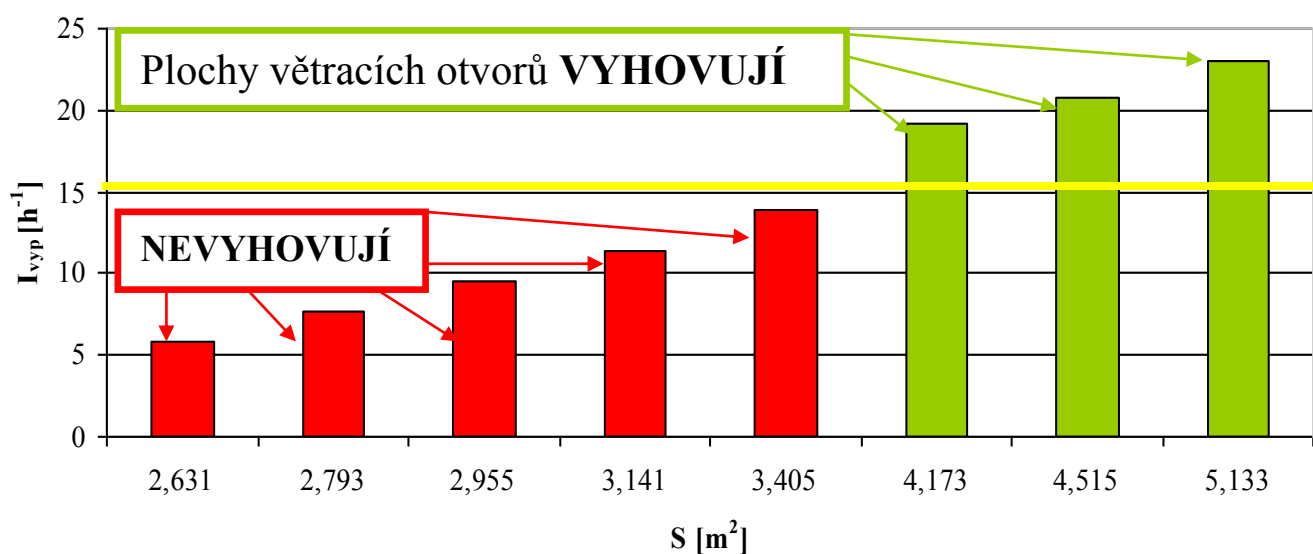


Graf 1 Závislost ploch větracích otvorů na výměně vzduchu (zima - DVO 1,1 x 1,97 m)

Rozměry dolního větracího otvoru		Rozměry horního větracího otvoru		Počet podlaží	$p_{z,sch}$	H	$t_{ven. \text{ vzduch}}$
šířka [m]	výška [m]	šířka [m]	výška [m]	[-]	[Pa]	[m]	[°C]
1,1	1,97	0,86	0,54	9	2	24,8	14,9
1,1	1,97	1,16	0,54	9	2	24,8	14,9
1,1	1,97	1,46	0,54	9	2	24,8	14,9
1,1	1,97	1,16	0,84	9	2	24,8	14,9
1,1	1,97	0,86	1,44	9	2	24,8	14,9
1,1	1,97	1,76	1,14	9	2	24,8	14,9
1,1	1,97	2,06	1,14	9	2	24,8	14,9
1,1	1,97	2,06	1,44	9	2	24,8	14,9
$t_{CHÚCpod}$	$t_{CHÚCnad}$	w	$C_{př,odv}$	$S_{otvorů}$	A_{nav}	A_{zav}	I_{vyp}
[°C]	[°C]	[m/s]	[-]	[m ²]	[-]	[-]	[h ⁻¹]
17,7	38,5	3,39	0,6	2,631	0,6	-0,3	5,818
17,7	38,5	3,39	0,6	2,793	0,6	-0,3	7,722
17,7	38,5	3,39	0,6	2,955	0,6	-0,3	9,521
17,7	38,5	3,39	0,6	3,141	0,6	-0,3	11,440
17,7	38,5	3,39	0,6	3,405	0,6	-0,3	13,885
17,7	38,5	3,39	0,6	4,173	0,6	-0,3	19,172
17,7	38,5	3,39	0,6	4,515	0,6	-0,3	20,804
17,7	38,5	3,39	0,6	5,133	0,6	-0,3	22,962

Tabulka 11 Hodnoty potřebné pro určení závislosti plochy otvorů na výměně vzduchu

Závislost ploch větracích otvorů na výměně vzduchu (letní období - dolní otvor o rozměrech 1,1 x 1,97 m)



Graf 2 Závislost ploch větracích otvorů na výměně vzduchu (léto - DVO 1,1 x 1,97 m)

Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou navrhování ÚC a jejich větráním, které je nezbytné pro zajištění bezpečné evakuace osob z objektu ohroženého požárem. Na každou ÚC jsou kladeny specifické požadavky, které vychází z příslušných norem. Jedná se hlavně o ČSN 73 0802 a ČSN 73 0804.

V každém objektu by měly být použity a také dostatečně označeny ÚC, které vyvedou bezpečně osoby z budovy na volné prostranství. Nejdůležitější při navrhování ÚC je stanovit jejich rozměr, počet, vybavení, předpokládanou dobu evakuace, druh. Rozeznáváme tři typy ÚC. Jedná se o chráněné, nechráněné a částečně chráněné ÚC. CHÚC se od sebe liší podle stupně ochrany, kterou zajišťují unikajícím osobám. Všechny CHÚC musí být odvětrávány ať již přirozeně nebo uměle. V ČR je pro návrh CHÚC nejvíce využíváno a řešeno přirozené větrání pomocí otvorů umístěných v nejnižším a nejvyšším místě či pomocí otvorů v každém podlaží. Při tomto způsobu výpočtu se předpokládá, že budou otevřena všechna okna, tudíž je tento výpočet velmi náročný a proto není ani zahrnut v této práci. Velikost větracích otvorů se volí podle normových hodnot (v takovém případě je velikost otvorů 2 m^2 a účinnost větrání se již dále neověřuje) nebo se využije výpočtová metoda, která ověří, zda použité otvory budou dostačující.

Z diplomové práce vyplývá, že přirozené větrání pomocí otvorů v nejnižším a nejvyšším místě je ovlivněno hlavně správnou volbou velikosti otvorů, rychlostí větru a obdobím, kdy dojde k požáru. Je obrovský rozdíl, pokud k požáru dojde v letním či zimním období. Jestliže budou navrženy malé větrací otvory, tak by přirozené větrání nemuselo být účinné, nebo pokud by požár nastal v letním období či pokud by bylo bezvětrí. Na správné fungování větrání má také vliv umístění otvorů na návětrné či závětrné straně. Je vhodné umísťovat přívaděcí otvor na návětrné straně a odváděcí otvor výhradně na závětrné. Při výpočtu má podstatný vliv také typ ÚC. U CHÚC typu A musí být zajištěna patnáctinásobná výměna vzduchu za hodinu, u CHÚC typu B je to dvacetinásobná výměna vzduchu za hodinu. V případě, že vyjdou nižší hodnoty, tak je nutné zvětšit velikost větracích otvorů.

Z diplomové práce vyplývá, že je pro projektanta požárně bezpečnostního řešení při navrhování větrání ÚC příhodné z důvodů bezpečnosti a správného fungování použít výpočtovou metodu místo normových hodnot. Tak by se lépe ověřilo, zda větrání bude dostatečně účinné či nikoliv.

Seznam použité literatury

Skripta

- [1] HOŠEK, Z. *Požární bezpečnost staveb*. 1. vydání. Praha: ABF - nakladatelství ARCH, ABF - Nadace pro rozvoj architektury a stavitelství, 2006. ISBN 80-86905-22-5.
- [2] BRADÁČOVÁ, I. *Stavby z hlediska požární bezpečnosti*. 1. vydání. Brno: ERA, 2007. Technická knihovna. ISBN 978-80-7366-090-1.
- [3] RUSINOVÁ, M.; JURÁKOVÁ T.; BADALOVÁ M. *Pozemní stavitelství požární bezpečnosti staveb*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. ISBN 80-214-2213-0.
- [4] POKORNÝ, J. ; TOMAN S. *Požární větrání: Větrání chráněných únikových cest a zásahových ces*. 1. vydání. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011. SPBI spektrum, 75. ISBN 978-80-7385-104-0.
- [5] KRATOCHVÍL, V.; NAVAROVÁ, Š.; KRATOCHVÍL, M. *Stavby a požárně bezpečnostní zařízení: Malá encyklopedie požární bezpečnosti objektů a technologií*. Praha: MV – generální ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR, 2010. 432 s. ISBN 978-80-86640-53-2.

Normy

- [6] ČSN 73 0804. *Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty*. Praha: Český normalizační institut, únor 2010. 156 s.
- [7] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha: Český normalizační institut, květen 2009. 122 s.

Zahraniční zdroje

- [8] Basic Means of Escape from Fire. [online]. United Kingdom, 2011 [cit. 2013-02-17]. Firesafe.org.uk Dostupné z www: < <http://www.firesafe.org.uk/basic-means-of-escape-from-fire/>>.
- [9] Fire Safety Regulations Guide. [online]. 2013 [cit. 2013-02-17]. Is4profit.cz Dostupné z www: < <http://www.is4profit.com/business-advice/general-advice/fire-safety-regulations-guide/escape-routes.html>>.
- [10] NFPA 101: Life Safety Code. [online]. 2006 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z www: < <http://ia600709.us.archive.org/15/items/gov.law.nfpa.101.2006/nfpa.101.2006.pdf>>.

Internetové zdroje

- [11] TOMAN, S. Požární větrání chráněných únikových cest, navrhování a některé problémy. [online]. 2011 [cit. 2013-01-15]. Tzb-info.cz Dostupné z www: <<http://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/7575-pozarni-vetrani-chranenych-unikovych-cest-navrhovani-a-nektere-problemy>>.
- [12] NOORI, M. Únikové cesty. [online]. ČVUT v Praze, 2006 [cit. 2013-01-15]. People.fsv.cvut.cz Dostupné z www: <http://people.fsv.cvut.cz/www/wald/Pozarni_odolnost/e-text/specialiste/2/2-7_Unikove_cesty.pdf>.
- [13] Únikové cesty. [online]. 2010 [cit. 2013-01-20]. Hzscr.cz Dostupné z www: <<http://www.hzscr.cz/clanek/unikove-cesty.aspx>>.
- [14] Průměrné hodnoty. [online]. Přerov, 2012 [cit. 2013-03-03]. Meteoforum.e-pocasi.cz Dostupné z www: < <http://meteoforum.e-pocasi.cz/prumerne-hodnoty/prumerne-hodnoty-srpen-2012-t971.html>>.
- [15] Český hydrometeorologický ústav. [online]. [cit. 2013-03-06]. Portal.chmi.cz Dostupné z www: <http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_4_Uzemni_teploty&nc=1&portal_lang=cs#PP_Uzemni_teploty>.
- [16] TOMAN, S.; KARLOVSKÁ I. Větrání chráněných únikových cest při požáru. KARLOVSKÁ. [online]. 2004 [cit. 2013-03-15]. Tzb-info.cz Dostupné z www <: <http://www.tzb-info.cz/2064-vetrani-chranenych-unikovych-cest-pri-pozaru>>.
- [17] CHYTRÝ, P. ČSN 73 0802 - stručná historie a zavádění do praxe. [online]. 2012 [cit. 2013-03-19]. Seidl.cz Dostupné z www <: <http://www.seidl.cz/cz/technicky-zpravodaj/technicky-zpravodaj-42/csn-73-0802-strucna-historie-a-zavadeni-do-praxe-510.html>>.
- [18] BRADÁČOVÁ, I. Požární bezpečnost panelových bytových domů. [online]. 2006 [cit. 2013-03-19]. Tzb-info.cz Dostupné z www <: <http://www.tzb-info.cz/3321-pozarni-bezpecnost-panelovych-bytovych-domu>>.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Rozdělení únikových cest [4]	9
Obrázek 2 Členění větrání chráněných únikových cest [4].....	10
Obrázek 3 CHÚC typu A. Přirozené větrání pomocí.....	11
Obrázek 4 CHÚC typu A. Přirozené větrání otevíratelnými otvory [16]	12
Obrázek 5 Tlakový diagram rozdílu teplot	26
Obrázek 6 Přirozené větrání v CHÚC-A s větracími	27
Obrázek 7 Tlakový diagram příkladu č. 2	32
Obrázek 8 Tlakový diagram příkladu 3.....	34

Seznam tabulek

Tabulka 1 Šířka únikových cest a východů [8]	7
Tabulka 2 Stanovení typu chráněné únikové cesty [1]	9
Tabulka 3 Použitelné šířky CHÚC [1]	18
Tabulka 4 Použití jedné ÚC [6].....	20
Tabulka 5 Průměrné měsíční teploty vzduchu v České republice [15].....	23
Tabulka 6 Průměrná měsíční rychlost větru [14]	27
Tabulka 7 Hodnoty aerodynamických součinitelů budovy [4]	28
Tabulka 8 Výsledné hodnoty příkladu 3	33
Tabulka 9 Účinnost přirozeného větrání	35
Tabulka 10 Hodnoty potřebné pro určení závislosti plochy otvorů na výměně vzduchu	37
Tabulka 11 Hodnoty potřebné pro určení závislosti plochy otvorů na výměně vzduchu	38

Seznam grafů

Graf 1 Závislost ploch větracích otvorů na výměně vzduchu (zima - DVO 1,1 x 1,97 m) 37

Graf 2 Závislost ploch větracích otvorů na výměně vzduchu (léto - DVO 1,1 x 1,97 m) 38